

博士（人間科学）学位論文

閉経後中高年女性の基礎代謝量の決定諸因子

Determinant factors of basal metabolic rate
in postmenopausal women

2008 年 1 月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

薄井 澄誉子

Usui, Chiyoko

研究指導教員： 樋 口 満 教授

目次

| | |
|--|----|
| 研究概要 | 1 |
| 第1章 緒論 | 3 |
| 1. 基礎代謝量の定義 | 3 |
| 2. 基礎代謝量の測定の歴史と評価 | 5 |
| 3. 日本における基礎代謝量測定の歴史 | 8 |
| 4. 日本における基礎代謝量の評価方法 | 15 |
| 5. 基礎代謝量と身体組成に関する研究の発展 | 17 |
| 6. その他の基礎代謝量に影響する諸因子 | 22 |
| 6-1. 加齢・性の影響 | 22 |
| 6-2. 運動の効果 | 23 |
| 7. 本論文の目的 | 26 |
| 8. 本論文の構成 | 27 |
| 第2章 閉経後中高年女性の基礎代謝量と身体組成 ～脂肪量・除脂肪量に注目した分析～ | 39 |
| ABSTRACT | 39 |
| 1. 緒言 | 40 |
| 2. 方法 | 41 |
| 2-1. 被検者 | 41 |
| 2-2. 身体組成 | 41 |
| 2-3. 基礎代謝量の測定 | 42 |
| 2-4. 最大酸素摂取量の測定及び運動習慣の評価 | 42 |

| | |
|-----------|----|
| 2-5. 統計処理 | 43 |
| 3. 結果 | 43 |
| 4. 考察 | 44 |
| 5. まとめ | 48 |

第3章 閉経後中高年女性と若年成人女性の基礎代謝量と身体組成

～呼吸循環器系機能レベルの違い及び組織/器官レベルに注目した分析～

| | |
|---|----|
| | 53 |
| ABSTRACT | 53 |
| 1. 緒言 | 55 |
| 2. 方法 | 57 |
| 2-1. 被検者 | 57 |
| 2-2. 身体組成 | 58 |
| 2-3. 基礎代謝量の測定 | 58 |
| 2-4. 最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$) の測定 | 59 |
| 2-5. 組織/器官及び基礎代謝量の推定 | 60 |
| 2-6. 統計処理 | 60 |
| 3. 結果 | 61 |
| 3-1. 身体的特徴と有酸素性能力 (フィットネスレベル) | 61 |
| 3-2. 基礎代謝量の実測値と推定値 | 61 |
| 4. 考察 | 63 |
| 4-1. 身体的特徴と有酸素性能力 (フィットネスレベル) | 63 |
| 4-2. 基礎代謝量の実測値と推定値 | 65 |
| 5. まとめ | 67 |

第4章 閉経後中高年女性と若年成人女性の基礎代謝量と血液生化学諸指標

～血中のホルモン及びアディポサイトカインに注目した分析～ ……75

ABSTRACT ……75

1. 緒言 ……77

2. 方法 ……78

2-1. 被検者 ……78

2-2. 身体組成 ……79

2-3. 基礎代謝量の測定 ……79

2-4. 血液検査 ……80

2-5. 統計処理 ……80

3. 結果 ……81

4. 考察 ……82

5. まとめ ……86

第5章 総括 ……93

1. 研究の背景と目的 ……93

2. 研究の概要 ……94

2-1. 研究課題1(第2章) ……94

2-2. 研究課題2(第3章) ……94

2-3. 研究課題3(第4章) ……95

3. 結論と今後の研究課題 ……96

第6章 結論 ……99

謝辞 ……100

| | | |
|--------------|-------|-----|
| 引用文献 | | 102 |
| 掲載論文及び学会発表一覧 | | 122 |
| 追記 | | 126 |

研究概要

近年、食習慣の欧米化によるエネルギーの過剰摂取や技術の発達などによる日常生活における身体活動量の低下が、肥満、糖尿病、高脂血症などの生活習慣病の罹患者の増加を引き起こす大きな要因となっている。特に女性においては、閉経による性ホルモン分泌の変化が、体脂肪の蓄積増加や骨格筋や骨などの除脂肪組織の減少を引き起こし、その後の生活習慣病や骨粗鬆症の発症につながっている可能性がある。

これら生活習慣病などの発症を予防し、健康で充実した生活を営むためには、適切な必要エネルギー摂取量を推定しなければならない。その推定基準となるのが基礎代謝量であり、生命維持に最低限必要なエネルギー代謝で、1日のエネルギー消費量の約60~80%を占めている。現在日本で使用されている基礎代謝基準値は、1966年に得られたデータから策定されており、閉経を迎えた中高年女性のデータはなく、閉経によって急激な身体的変化が起こる中高年女性の基礎代謝量と身体組成の関連についても十分な検討がされていない。

そこで、本研究では、閉経後中高年女性の基礎代謝量と身体組成の関係に注目するとともに、加齢や呼吸循環器系機能、血液生化学諸指標との関連についても検討することを目的として、以下の3つの課題を遂行した。

【研究課題 1】では、閉経後中高年女性を対象として基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響について検討した。基礎代謝量(kcal/day)に対し、寄与率が最大となる説明変数は除脂肪量(Fat free mass ; FFM : 35.7%)で、次に体脂肪量(Fat mass ; FM : 7.0%)であったことから、閉経後中高年女性の基礎代謝量(kcal/day)の最も重要な決定因子はFFMであり、加齢に伴って増加したFMも基礎代謝量の決定因子として一定の役割を担っていることが示唆された。

【研究課題 2】では、有酸素性能力の異なる健康な若年成人女性及び閉経後中高年

女性を対象として、基礎代謝量と二重エネルギーX線吸収法（DXA法）を用いて測定した身体組成との関係を検討した。健康な若年成人女性と閉経後中高年女性における基礎代謝実測値と4つの組織/器官（脂肪組織、骨、骨格筋、その他組織/器官）の重量にそれぞれの代謝量を掛け合わせて見積もった基礎代謝推定値の間に強い正の相関関係が認められた。また、Bland-Altmanの分析においてどんなバイアスも見られなかった。これらのことから、非肥満の成人女性において、年齢や有酸素性能力の違いに関係なく、DXA法で測定した4つの組織/器官の重量が適切に見積られれば、基礎代謝量（kcal/day）を高い精度で推定できることが示唆された。さらにこの結果から、加齢や有酸素性能力の低下による基礎代謝量（kcal/day）の低下は、各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりも、むしろ各組織/器官の重量の変化が大きく影響を及ぼしている可能性が示唆された。

【研究課題3】では、健康な若年成人女性と閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量と血中のホルモン及びアディポサイトカインとの関係を検討した。本研究においてFFM当たりの基礎代謝量と T_3 の間に有意な単相関関係が認められた。また、若年成人女性においては、FFM当たりの基礎代謝量と E_2 の間に有意な単相関関係が認められた。さらに、身体組成及び血中ホルモン（FM（kg）、FFM（kg）、 E_2 （pg/mL）、 T_3 （ng/dL））の影響を除去し、基礎代謝量とアディポサイトカインの間の偏相関係数を算出したが、基礎代謝量とアディポネクチンまたはレプチンの間に有意な相関関係は認められなかった。これらの結果から、非肥満成人女性において、アディポネクチン及びレプチンは、基礎代謝量（kcal/day）に直接的な影響を及ぼさないことが示唆された。また、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしていることが確認された。

第 1 章 緒 論

1. 基礎代謝量の定義

1 日のエネルギー消費量 (Total energy expenditure; TEE) は、安静時代謝量 (Resting metabolic rate; RMR)、活動に費やすエネルギー量 (活動代謝量: Physical activity)、そして食事誘発性のエネルギー代謝量 (Thermic effect of food; TEF) の総和である (Ravussin *et al.* 1986、1989、資料 1)。

基礎代謝量は、1920 年代に考案された概念であり、『身体的・精神的な安静状態において代謝される最小のエネルギー代謝量であって、生きていくために必要な最小のエネルギー代謝量 (通常、1 日当たりの量を示す)』とされている (第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－1999)。具体的には、生命維持に最低限必要な神経系におけるインパルス伝達のための電氣的エネルギー、呼吸循環器系や消化器系の運動保持、骨格筋のトーンス保持のために必要な運動エネルギー、体温保持に必要な熱エネルギー、浸透圧エネルギー、物質合成のための化学的エネルギーなどが含まれている。実際には、特定の条件、すなわち軽い夕食を摂取した後から 12 時間以上断食、つまり食事誘発性のエネルギー代謝量を最小にし、翌早朝空腹・覚醒時に快適な室内 (室温 18~25 °C) において安静仰臥位で測定される RMR のことである。また、基礎代謝量は、TEE の約 60~80 % を占めており、エネルギー消費量やエネルギー必要量を推定する上で大変重要な基礎データである (Ravussin *et al.* 1989、Tataranni *et al.* 1995)。

基礎代謝量の年齢的变化は、体表面積当たりで見ると Du Bois (1936) が描いた基礎代謝曲線が示しているように、出生後しばらくの間著しく低いがその後最初の 1 年間に急激に増加して最高値に近い値に達し、続く 1~2 年の間最高値を示す。その後、

漸次低下していくが、思春期の発育促進期に一時その低下を停止して一つのピークを作り、その後再び低減する。そして、青年期になるとおおよそ一定の値を保って大した変動を示さないと報告されている。思春期の発育促進期における基礎代謝量の亢進は、身長や体重等の発育速度に比例するが生理的機能の発達とは直接的な関係が見られないと指田（1952）は報告している。また、ほぼ一定の値に保たれる成人の基礎代謝量は身体の大きさ、特に体重や除脂肪量（Fat free mass ; FFM）と非常に高い正の相関を示すことが知られている（Fukagawa *et al.* 1990、Henry. 2000、Paolisso *et al.* 1995、Ravussin *et al.* 1989、Tataranni *et al.* 1995）。

基礎代謝量と安静時代謝量の区別は、日本国内だけでなく海外においても、また、歴史的にみても曖昧である。日本において、基礎代謝基準値（日本人の食事摂取基準 2005 年版）策定のための中心的な資料である長崎大学の基礎代謝量測定値は、ほとんどが早朝空腹時の仰臥位安静時代謝量である（山本ら 2001）。また、アメリカにおいて安静時代謝量（Resting energy expenditure ; REE）と呼んでいるもの（National Research Council 1989）は、1985 年に FAO/WHO/UNU が基礎代謝算定式で求めたものと同じものである。すなわち、基礎代謝量、BMR（Basal metabolic rate）、RMR、REE はしばしば同義語として使用されている。その理由として、基礎代謝と空腹時安静時代謝の差が 10 %以内であり、現実の利用において同じ様に扱ってもよいと考えられているからである。従って、本論文では様々な言葉で表現されている“基礎代謝量”及び“安静時代謝量”を総称して、『**基礎代謝量**』という用語を使用した。なお、本論文において引用した原著論文の本文中あるいは図表における英語表記においては、それぞれ使用されている『**BMR (basal metabolic rate)**』や『**REE (resting energy expenditure)**』などをそのまま表記した。

2. 基礎代謝量の測定の歴史と評価

基礎代謝研究の黎明期における測定は、Lavoisier と LaPlace が 1780 年に動物の産熱が体内物質の酸化によってもたらされることを見出したのが最初とされている (Lavoisier and LaPlace. 1780)。Lavoisier は、定量した炭素を氷室で燃焼させ、融けた氷の量から燃焼によって炭素の他に重量当たりの熱生成量を計算しておき、次にモルモットを氷室に入れて融けた氷の量からの産熱量を計算した。その後の約 100 年の間に、測定方法の改良と動物やヒトについての産熱量の測定が行われていく中で、1883 年に Rubner によって産熱量が体表面積に依存していることが報告された。Rubner (1883、1894) は、カロリーメーターを用いた試験により、同一種族で体重の違う動物（犬）の産熱量を測定した。その結果、体の大小にかかわらず体表面積当たりの産熱量がほぼ一定であることを示した。また、異なる種族の動物においても体表面積当たりでほぼ一定の熱量を産生することを示した。それ以降、この産熱量と体表面積の関係は、表面律 (surface law of metabolism) として知られるようになり、栄養必要量を決定する条件としてもヒトにおいて測定されるようになった。

その後、基礎代謝量測定の関心は甲状腺機能の臨床診断及び健常人の標準値作成に向けられ、繰り返し多数の測定が行われて、1910 年前後からカーネギー栄養研究所 (Nutrition Laboratory of Carnegie Institution of Washington, Boston) における Benedict ら、コーネル大学 (Cornell University, New York) 及びラッセル・セージ病理研究所 (Russel Sage Institute of Pathology, Pellvue Hospital, New York) における Lusk、Du Bois らにより公表されてきた (高比良 1925(a))。Benedict (1914(a)) は、食後 12 時間以上経過した状態は食物の消化吸収が完了した状態であるので、“post-absorptive metabolism” と称し、また Krogh (1916) は、夕食から 12~14 時間経過した翌朝に、安静状態で測定されていたので、“standard metabolism” と称した

こともある。基礎代謝“basal metabolism”という用語は、Magnus-Levy（1896）の“Grundumsatz”、或いは Loewy（1911）の“Erhaltungsumsatz”を英訳したもので、現在も使用されている用語であるが、定着したのは 1920 年代と思われる。

海外で行われていた基礎代謝量の測定条件は、Benedict（1914(a)、1921）の報告によると次のようである。

- ①被検者は測定場所に午前 8 時頃に来ること。
- ②その際、被検者は前日の夕食から 12 時間以上経過しており、いわゆる post-absorptive の状態であること。
- ③研究所に到着後、最初の測定まで被検者はベッドで約 30 分安静にしていること。
- ④健康な状態であること。
- ⑤15~20 分間隔で数回の測定（1 回当たり 15 分）を行い、代表的な測定値を得るため同じ被検者に対して日を改めて 2 日分ないしはそれ以上の測定を繰り返すこと。
- ⑥環境温度は、20~23 °C であること（推奨）。

このようにして得られた値は、筋緊張、発熱、食物消化による影響を完全に排除したものであると述べている。

これまで、多くの研究者によって体表面積や体重を用いた基礎代謝量の推定式が発表され、多くの人に使用されてきた。日本国内外で広く用いられている推定式の代表としては、Harris-Benedict 式（1919）や Schofield 式（1985）、FAO/WHO/UNU 式（1985）のような体重や身長を変数とした年齢別の推定式が挙げられる（資料 2）。しかし、一方で、基礎代謝量の変動（個人差）を体重によってすべて説明することができないこ

とも古くから指摘されてきた。

すでに、1910 年代の基礎代謝研究において、表面律について言及する報告が多いなか、Harris and Benedict（1919）によって体表面積と産熱量との間に生理学的な因果関係がないという批判があったことを高比良（1925(a)）が報告している。また、Benedict（1915(a)、(b)、(c)）は体重または体表面積によって基礎代謝量の変動を十分に説明することができないとし、個人によって異なる変動は活性組織（active protoplasmic tissue）の割合によるものと考えた。このように、エネルギー代謝が脂肪や骨あるいは体液のように代謝的に活性の低い体成分を除いた、すなわち代謝の活発な腺・筋・神経組織などの量に比例するであろうことは、Benedict や Talbot(1914(b))以来考えられていた。活性組織（active protoplasmic tissue）は Rubner（1902）も使っている古い言葉であり、活性の高い組織をさしたものと思われるが、この活性組織（量）を実際に直接測定する方法は、現在においても未だ開発されていない。

Benedict の提案以後、活性組織量の推定が多くの研究者によって試みられるようになったが、1940 年代に入ると、身体の比重を測定することによって体脂肪組織と除脂肪組織の割合を推定することが可能になった。

従って、研究者たちは活性組織の推定が実用的でないことから、体脂肪組織と除脂肪組織の推定に注目するようになった。また、Behnke（1952）は体脂肪を除いた体成分を“Lean body mass (LBM)”と呼び、Bass（1954）は“Fat free mass (FFM)”と呼んで、除脂肪組織として活性組織より具体的に表そうとする意図を示した（鈴木 1957(a)）。

この身体構成を体脂肪組織と除脂肪組織とに 2 分する“two-compartment model”という概念をもとに身体組成を測定し、基礎代謝量と身体組成の関係を検討することで、

基礎代謝量の個人差を説明する諸因子の解明が多くの研究者によって行われた。Miller と Blyth (1953) は体重、体表面積、FFM と基礎代謝量との関係を検討し、FFM と基礎代謝量との相関が最も高かったこと ($r = 0.92$) や FFM から推定される基礎代謝量が体重や体表面積を用いた推定よりも精度が高かったことから、基礎代謝量の基準として FFM を用いることを提案した。また、彼らは、FFM 当たりの基礎代謝量を肥満者と痩身者と比較したとき、有意な差がなかったことも報告している。この結果から、身体には代謝活性の著しく低い体脂肪のような組織が存在することを示すこととなった。

また、Cunningham (1991) は、基礎代謝量 (REE) と身体組成の関係についての多くの先行研究についてレビューを行っている。この報告によると、成人の基礎代謝量 (REE) との関連が最も高い変数は FFM であり、FFM のみによって基礎代謝量 (REE) の変動の 65~90 % が説明されることを示唆している。

このように、基礎代謝量に最も関連が強い因子は FFM であることが多くの研究者によって示唆された。しかし、基礎代謝量が体重や FFM 当たりで表される場合には一定でなく、より大きい体重や FFM を持つ者では基礎代謝量 (kcal/kgBW/day、kcal/kgFFM/day) が小さく、体重や FFM がより小さい者では基礎代謝量 (kcal/kgBW/day、kcal/kgFFM/day) が大きいことは、未だ永続的な謎として残っている。

3. 日本における基礎代謝量測定の実史

我が国において、エネルギー所要量 (現在の「日本人の食事摂取基準 2005 年版」における“推定エネルギー必要量”) を推定するための基本となる基礎代謝量の測定は、1920 (大正 9) 年に内務省において栄養研究所 (現在: (独) 国立健康・栄養研究所)

が設立され、日本人の基礎代謝量についての研究が始まったときから行われている。古い基礎代謝量測定の結果では、1920（大正 9）年に専門学校男性教員 3 名（年齢：32-48 歳）を対象としたもの（吉田 1920、資料 3）や 1922（大正 11）年に、男子学生 25 名（年齢：23-28 歳）を対象としたもの（岡田ら 1922）が残っている（速水 1949）。その中でも、男性 75 名（年齢：18-58 歳）と女性 43 名（年齢：16-50 歳）の基礎代謝量を測定した高比良の報告（1925（大正 14）(a)）は広い年齢範囲にわたって基礎代謝量を測定した報告である。その報告には、栄養研究所の設立当時（大正 9 年）、所長であった佐伯 矩博士が、ボストン、カーネギー栄養研究所所長であったベネディクト博士（Dr. Benedict FG）に依頼し、当時最も進歩していてかつ使用の簡便なカロリーメーター及び呼吸装置（ベネディクト式呼吸装置、資料 4）を用いたことや、高比良がカーネギー栄養研究所及びマサチューセッツ病院においてベネディクト博士及びトルボー博士（Dr. Talbot FB）からエネルギー代謝量測定の技術の指導を受け、その技術を日本に持ち帰り、ベネディクト式呼吸装置を使用して基礎代謝量の研究を行ったことも記されている（高比良 1925(a)）。

また、高比良（1925(b)）は、基礎代謝量を測定するとともに、基礎代謝量を算出するもとをなす体表面積を日本人において実際に測定し、Du Bois & Du Bois（1916）の身長・体重式（ $A = W^{0.425} \times H^{0.725} \times 71.84$ ）{A；体表面積（ m^2 ）、W；体重（kg）、H；身長（cm）} を改めて日本人に最も適合するような体表面積を推定する 2 つの式を報告している。

$$1) A = W^{0.425} \times H^{0.725} \times 72.46$$

$$2) A = W^{0.427} \times H^{0.718} \times 74.49$$

この 2 つの式を利用することによって、任意の身長・体重を有する人の体表面積を推定し、その体表面積に $1 m^2$ 当たりの基礎代謝基準値を掛け合わせることで、基礎代

謝量が算出できることを報告した。

その後、厚生省創設に伴い、栄養研究所と公衆衛生院が合併されて設立された厚生科学研究所国民栄養部（現在：（独）国立健康・栄養研究所）において『年齢別・性別のエネルギー要求量（現在の“推定エネルギー必要量”に相当）の標準』（1941）が発表され、その算定について藤本と露木（1941）が報告している。これは、大磯と露木（1939）が高比良（1925(a)）、中川（1934）、藤本（1936）らによって測定された実測値を年齢別に配分し、数学的に妥当と思われる曲線から求めた年齢に応じた体表面積・1時間当たりの基礎代謝量（ $\text{kcal/m}^2/\text{h}$ ）を利用してエネルギー要求量を算定している。

『日本人の栄養所要量』は、これらの基礎代謝測定値を基にして 1941（昭和 16）年に厚生科学研究所国民栄養部が報告した『日本人栄養要求量標準』が一番古く、次いで 1949（昭和 24）年の『国民食糧及び栄養対策審議会の答申したカロリーおよび蛋白質所要量』と 1952（昭和 27）年に資源調査会食糧部会が決定した『無機質およびビタミン所要量』を資源協会がまとめた『日本人の栄養基準量』（1954（昭和 29））が残されている。この栄養基準量は、第二次世界大戦後の食料欠乏による苦い経験から、「食糧事情に対処し、乏しい食料を活用して、十分に働けるだけの体力を維持し、すすんで国民全体の体位の向上を図るためには、どのような食事をどのくらい摂ったらよいだろうか」という問題を解決するために策定されたものである。

また、基礎代謝量の測定条件は、1953（昭和 28）年に編成された長崎大学医学部公衆衛生学講座の藤本薫喜教授を代表者とする「日本人発育期の基礎代謝研究文部省総合研究」で設定している（柏崎 1997）。

①実験当日朝、自宅より実験室までの歩行を許可。実験室到着後、ベッドに仰

臥して 30 分以上休息させる。

②体温は、体温計（1 分計）にて 10 分間口腔舌下で測る。

③脈拍数及び呼吸数を測り、基礎代謝状態に落ち着いたかどうかを確かめる。

特に、脈拍数が一定に落ち着くまでは採気を控える。

④実験室温は、18~25 °C とする。

⑤女子被験者にあつては、月経時の実験を避け、月経後 1 週間以内に行う。

⑥身長、体重、胸囲、上腕囲を測定する。

⑦採気直後の血圧を測る。

⑧原則として、総 RQ（呼吸商）が 0.75 以上 0.99 以下の場合を採る。

第二次世界大戦によって一時低下していた国民の体位、特に青少年等発育期にあるものの体位は、戦後において向上が著しく、それまでの日本人の栄養所要量では、不相当であるとのことから、『日本人の栄養所要量』は 1959（昭和 34）年に改定された。この時の基礎代謝基準値策定には、単位として体表面積・1 時間当たりの基礎代謝量（kcal/m²/h）が使用されており、過去において実測された日本人男女約 900 名ずつの基礎代謝実測値を比較検討し、年齢区分の統一、測定月の外気温による実測値の補正、測定人数による加重平均を行うことで数値を求めている。しかし、基準値策定において使用された実測値は、少年期から青年期におけるものが大多数を占め、6 歳以下の乳児・幼児期および 40 歳以上の中高年期における実測例数が極めて少ない上に、60 歳以上では対象者が養老院収容者のみであった。

1955（昭和 30）年以降の“高度経済成長”に支えられ、国民の生活水準は年々向上し、特に食生活においては、戦後の食糧不足の状態を切り抜け、豊富で多彩な食生活を楽しむことができるようになった。しかしながら、生活様式の激変に伴って生じ

た食習慣の変化や技術の発達（交通機関や家電製品などの発達）により運動不足（日常生活における身体活動量の低下）が起こり、肥満症や慢性疾患、生活習慣病の増加などの新たな問題を生じるようになった。このようなライフスタイルの変化に伴い、これまで 1969（昭和 44）年から約 5 年おきに『栄養所要量』は見直され、各年齢や性別に見合った栄養所要量が公表されてきた。

従来の『栄養所要量』においては、集団を対象にし、栄養素欠乏症を解消して、健康維持・保護を目的として策定されてきた。その後『栄養所要量』は、従来の『栄養所要量』の目的に加えて慢性非感染症の危険要因の低減・除去や生活習慣病の 1 次予防のために、集団だけでなく個人をも対象にして、エネルギー及び栄養素の摂取量における科学的根拠に基づいた基準を示すものとして策定された。第六次改定時には、栄養欠乏症を予防する観点から、集団における 50 %の人が必要量を満たすと推定される 1 日の摂取量を「平均必要量」とし、「栄養所要量」は、特定の年齢層や性別集団のほとんどの人（97~98 %）が 1 日の必要量を満たすのに十分な摂取量とした。一方、過剰摂取による健康障害を予防する観点からは、特定の集団においてほとんどすべての人に健康上悪影響を及ぼす危険のない栄養素摂取量の最大限の量を「許容上限摂取量」とした。これらの数値を総称して『栄養所要量』から『食事摂取基準』と名称が変更された（第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－1999）。

しかし、1969（昭和 44）年以来、我が国の『栄養所要量』の算定に利用されてきた基礎代謝基準値は、主に 1951~1966（昭和 26~41）年に行われた基礎代謝量測定で得られたデータを基に算定されたものであり、科学的根拠に基づく策定を実施したという第六次改定時においても、そのままの基準値が使用されている（昭和 44 年改定日本人の栄養所要量と解説 1969、山本ら 2001、資料 5）。

実際に、日本における基礎代謝の研究においては、基礎代謝量の測定技術が海外から導入された後、1950年代において、さまざまな年齢階層や性別、職業別の対象者に対して実施された。国立栄養研究所（現：（独）国立健康・栄養研究所）では鈴木らによって女子公務員や土木建設技術養成院、国家警察予備隊員などの基礎代謝量が測定された（1951(a)、(b)、(c)、1952(a)、(b)、1953(a)、(b)、(c)、1954）。また、河谷（1955）や鎌田（1956）によって陸上選手やラグビー選手などの運動選手における基礎代謝量についても報告されている。さらに、代謝活性の低い体脂肪量と代謝活性の高い除脂肪量に体成分を二分するという概念に注目し、鈴木ら（1957(a)）や長嶺ら（1958）は体成分（body composition）と基礎代謝量との関係を報告している。体成分測定法としては、キャリパー（栄研式）による皮下脂肪厚の測定や密度法（水中体重秤量法）などが使用されており、「基礎代謝と体重、体表面積、活性組織（fat free mass）との相関は、それぞれ $r = 0.626$ 、 $r = 0.872$ 、 $r = 0.874$ で体表面積の場合と活性組織の場合の相関値に差異は見られなかったが、基礎代謝と活性組織との間には高度の相関がある」ことを示している（長嶺 1958）。

1960年代になると基礎代謝量の季節変動について注目が集まり、多くの研究が行われ（隈部 1964、黒田 1963、近藤 1960、重城 1962、鈴木ら 1959(b)、竹村 1963、富永 1963、中林 1963、浜口 1963、鉾石 1962、堀米 1968、山崎 1963、山田ら 1969、1970、吉国 1965、吉田 1963）、「基礎代謝は冬季に高く夏季に低い」という報告が多くなされた（隈部 1964、富永 1963、鉾石 1962、堀米 1968、吉国 1965）。しかし、海外の先行研究において、冬季に低く夏季に高いという報告（Benedict *et al.* 1919、Gustafson *et al.* 1928、Young. 1920）や夏季と冬季に差異がないというような相反する報告（Tilt. 1930）もある。

また 1960 年代以降、何かしらの特徴を有する者、例えば身体障害者や有疾患者、

肥満者、スポーツ選手というような特別な状態の基礎代謝量についても多くの研究がなされた。鈴木ら（1960）は、大学ボート選手 16 名の体表面積当たりの基礎代謝量が $40.6\sim 43.0 \text{ kcal/m}^2/\text{h}$ であり、日本人の標準よりも 9.7~16.1 % 高く、重筋労者の特性を示したことを報告している。また、長嶺ら（1966）は、大学体育会に所属する男子運動選手と一般男子学生の基礎代謝量を比較したとき、体表面積当たりで表すと運動部学生が一般学生よりも 10~20 % 高いが、FFM 当たりで表すとその差は 7 % 程度にまで縮まることを報告している。

日本におけるこれまでの基礎代謝量の測定において、少年期から青年期における研究報告が大多数を占めており、50 歳以上の中高年期における研究報告は少ない（秋田 1991、鈴木ら 1955、1957(b)、1959(a)、銚石 1962、松田 1992、横関 1993）。鈴木ら（1955、1957(b)、1959(a)）は、東京都内の養老院に居住する 60 歳以上の高齢者を対象とした研究を報告しており、基礎代謝量は体表面積当たりで表すと男性が平均 $34.0 \text{ kcal/m}^2/\text{h}$ 、女性が平均 $33.7 \text{ kcal/m}^2/\text{h}$ で性差がほとんど認められなかったことを示している。また、銚石（1962）は、男性 9 名と女性 10 名を対象とした 60 歳以上の体表面積当たりの基礎代謝量が日本人標準値より低い値を示したことを報告している。横関（1993）は東京都内の養護老人ホームに入所している 65 歳以上の男性 10 名と女性 15 名を対象として測定し、身体活動量及び推定最大酸素摂取量が高い者ほど基礎代謝量が高いことを報告しており、秋田（1991）や松田（1992）は、青森県在住の老人ホーム居住者を含む 70 歳以上の超高齢者の基礎代謝量は日本人の生活強度 I（軽い）群の基礎代謝基準値よりも低い値であったことを報告している。

これらの報告から、とりわけ年齢が 50~70 歳の範囲にある閉経を迎えた中高年女性に注目したデータは全くみられず、閉経によって急激な身体的変化が起こる中高年女

性の基礎代謝量と身体組成の関連についても検討が加えられていないことが明らかとなった。

4. 日本における基礎代謝量の評価方法

『日本人の栄養所要量』は、1941（昭和 16）年に厚生科学研究所国民栄養部によって初めて報告されてから、数回におよぶ改定を経ている。しかし、日本におけるエネルギー代謝量を算出するための基礎代謝基準値として利用されているものは、栄養所要量が厚生省（現在：厚生労働省）の所轄事項となり、1969（昭和 44）年に策定されたときの数値、主に 1951~1966（昭和 26~41）年に得られたもので（昭和 44 年改定日本人の栄養所要量と解説 1969、山本ら 2001、資料 5）、約 30 年間そのまま我が国のエネルギーに関する栄養所要量（現在は“推定エネルギー必要量”）の算定に利用されてきた。

また、1975（昭和 50）年改定の『日本人の栄養所要量』から、基礎代謝量についてこれまでとられてきた体表面積当たりの評価法の代わりに体重当たりの評価法が採用された。体表面積当たりの基準値が体重当たりに改定された理由として、

- 1) 体重当たりの基準値の方が基礎代謝量や所要量の算定に際し便利であること
- 2) 従来から基礎代謝量は体表面積、体重とも同程度の相関にあるとみられながらも、体重当たりの値は個人の体格体型による変動が大きいという点でも問題があったが、この点を検討した結果、この個人変動は補正式で高精度まで修正されうること
- 3) 世界各国でも体重当たりの表示法が用いられるようになったこと

があげられている（昭和 50 年改定栄養所要量と解説 1975）。ただし、第五次改定（1994（平成 6））までは、この体重当たりでの評価において、1969 年に策定された体表面

積当たりの基礎代謝基準値 (kcal/m²/h) に各改定時の身長および体重から推定した体表面積 (m²) を乗じて基礎代謝量 (kcal/day) を推定し、その推定値を各改定時の策定体重にて割った値を体重当たりの基礎代謝基準値 (kcal/kgBW/day) として発表している。つまり以下の式、

$$\text{【これまでの体表面積当たりの基準値} \times \text{体表面積} \div \text{体重} \times 24 \text{ 時間】}$$

を利用して体重当たりの基礎代謝量を算出して使用している。この理由として、「1969 年以降に実測された例が少なく、付け加える成績がなかったことや従来のを修正する根拠として十分なものが見当たらなかったためである」と報告されている（昭和 50、54 年改定、第三、四、五次改定日本人の栄養所要量）。また、今後の課題として成人以下の発育期についての検討や体重と基礎代謝量との関係のさらなる検討、さらには日本人の年齢別の体構成成分と基礎代謝量との量的関係を明らかにする実験的研究の推進が課題としてあげられている。

最近では、1999 年の『第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－』を策定する際に、第五次改定以後新しく実測されたものと携帯用簡易熱量計を用いて測定した RMR（安静時代謝量）の平均値を用いて基礎代謝基準値が改定されている。さらに、『日本人の食事摂取基準 2005 年版』の策定時には、これまで使用されてきた基礎代謝基準値の妥当性が検討されている。そこでは、5 つの研究報告（Ozeki *et al.* 2000、Rafamantanantsoa *et al.* 2003、薄井ら 2003、田口ら 2001、田中ら 2003）における基礎代謝量 (kcal/day) または体重当たりの基礎代謝量 (kcal/kgBW/day) の平均値と比較した結果、-5.5 ~ +4.2 % の範囲にあり、おおよそ一致していたことから、現在もそのままの基礎代謝基準値が使用されている。

5. 基礎代謝量と身体組成に関する研究の発展

基礎代謝量に関わる因子として、体表面積との関係を探るのが、初期の研究の主題であった。しかし、1970年代に入り、諸外国から報告されるエネルギー代謝の研究をふまえ、日本においても基礎代謝量と体重の関係に注目し始めた。現在では、基礎代謝量が体格・身体組成の影響を大きく受けることは周知の事実である（Paolisso *et al.* 1995、Tataranni *et al.* 1995、Westerterp *et al.* 2001）。また、FFMが重要な因子であることも多くの研究者によって報告されている（Fukagawa *et al.* 1990、Ravussin *et al.* 1989、Tataranni *et al.* 1995）。

田口ら（2001）は若年女性の基礎代謝量（kcal/day）が体重やFFMに比例していることを報告している。しかし、最近の中高年者を対象とした研究報告によるとFFMの他にも脂肪量（Fat mass；FM）も基礎代謝量に関連する因子のひとつとしてあげられている（Bernstein *et al.* 1983、Nelson *et al.* 1992）。Armellini *et al.*（2000）は、肥満男性と閉経前・後の女性の基礎代謝量（RMR）と身体組成の関係を検討するために、FFMとFMを皮下部分と内臓部分に分けて測定している。その結果、男性と閉経後中高年女性に対しては、FMが基礎代謝量（RMR）の決定に重要な因子であり、FMのなかでも特に内臓FMのみが因子であると報告している。これらの研究報告から、中高年者においては、基礎代謝量（kcal/day）を決定する要因としてFFM以外にFMも寄与している可能性が示唆されている。

エネルギー代謝における個々の相違を検討する試みにおいて、生体内の組織/器官の呼吸率（代謝率）が注目され、基礎代謝量と組織/器官の関係は、組織/器官の酸化代謝が一定であるという仮定に基づいて検討された。そこでは、すべての対象（各年齢層やさまざまな体型を含む）において、1）組織/器官重量に伴い代謝活動が増加する、

2) 組織/器官の代謝量は比較的一定であると仮定している。しかしながら、ヒトの組織/器官の呼吸率（代謝率）に関する生体内でのデータは限られており（Holliday *et al.* 1967）、生体内の組織/器官の酸素消費量は組織/器官の重量または機能的な重量（心拍出量または sodium para-aminohippurate の管状の最大分泌量）に関連すると提案された（Crosley *et al.* 1961、Holliday *et al.* 1967）。Grande（1961）や Holliday *et al.*（1967、1971）は、組織/器官の酸素消費量を用いて動物や人の組織/器官間の安静時エネルギー消費量（Resting energy expenditure ; REE）の相違を報告している。

最近、主に使用されている生体内の組織/器官の呼吸率（代謝率）は、組織/器官の動静脈（arteriovenous ; AV）の酸素較差に血流量をかけ合わせることによって導き出されたものである。組織/器官の AV 酸素較差の測定は、組織/器官が酸素を消費したかどうかを示すものであるが、その解釈は、方法論上の問題によって難しい組織/器官もある。例えば、肝臓の呼吸率において、動脈－肝静脈の基質（arterio-hepatovenous substrate）の差は、動脈/門脈－肝静脈（arterio-/portal-venous-hepatovenous）の酸素較差の代わりに使用されている（Müller *et al.* 2002）。Elia（1992、1997）は、この AV 酸素較差と血流量の測定を用いて、エネルギー代謝量の組織/器官間の相違の存在を強調した報告をしている。その報告では、脂肪組織および骨格筋のような器官は、熱産生率が比較的低いが、脳、肝臓及びその他の内臓諸器官は、熱産生率が高いことが示唆されている（Elia. 1992、資料 6）。この報告の後、Garby と Lammert（1994）は、基礎代謝量（REE）の個人差の変動の大部分が組織/器官の割合の相違によって説明できることを提案した。これらの先行研究から、体表面積や体重、FFMなどで補正した基礎代謝量（REE）においても観察される個人差は、様々な組織/器官の体重に対する割合の相違で説明できる可能性が示唆された。

しかし、組織/器官の血流量の測定誤差は酸素消費量の算出に大きく影響する。従っ

て、組織/器官の代謝量より正確な評価が必要であり、陽電子放射型断層撮影法（Positron emission tomography ; PET）による評価も使用されている。PETでは、放射性酸素（ O^{15} ）を用いて人間の脳の酸素消費量を測定したり、 O^{15} を結合させた炭酸ガスを用いて脳内局所の血流量を測ることができる。このPETを用いて3週間または最大6週間の飢餓に対する脳の酸素消費量を測定した報告がなされている（Owen *et al.* 1967、Redies *et al.* 1989）。これらのデータは、脳全体または脳の各部位の1 kg 当たりの酸素摂取量の不変性を示し、各組織/器官当たりのエネルギー代謝率が一定であるとの見解を支持している。

また、近年において、身体組成の研究における組織/器官のサイズの定量化も測定方法の発展により高い精度でできるようになった。発展した身体組成測定法として、コンピュータ断層撮影法（Computed tomography ; CT 法）や磁気共鳴イメージ画像法（Magnetic resonance imaging ; MRI 法）、二重エネルギーX線吸収法（Dual energy X-ray absorptiometry ; DXA 法）があげられる。CT 法やMRI 法は、機器が非常に高価で、測定手法の習得や測定そのものに時間がかかり研究者にとっても扱いにくく、容易に使用できるものではない。しかし、DXA 法はCT 法よりも放射線の被爆量が少なく、またCT 法やMRI 法よりも測定時間が短く容易であるため、各部位の身体組成の分析において、より簡便なツールとして広く用いられるようになってきた。DXA 法とは、単一光子吸収法（Single photon absorptiometry ; SPA）と二重光子吸収法（Dual photon absorptiometry ; DPA）から発展した方法であり、低エネルギー・ピークと高エネルギー・ピークの2つ以上の異なる波長からなるX線を使用することで、身体組成を測定することができる。DXA 法の導入により、全身及び各部位（頭部、体幹、上肢、下肢など）の軟部組織組成の高精度な測定と推定が可能となった。

Svendsen *et al.* (1993) は、肥満の閉経後女性を対象にして、基礎代謝量 (REE) が各部位の除脂肪量 (Lean body mass ; LBM \equiv FFM) と関連したことを報告した。体幹 LBM は、より高い代謝率の組織/器官が含まれており、全身と四肢の LBM より基礎代謝量 (REE) の個人差について説明する際に優れていると結論づけている。また、Kistorp *et al.* (2000) は、四肢の LBM と比較して、体幹 LBM が基礎代謝量 (REE) の予測因子として優れていたことを示唆している。しかし、どちらの研究においても、基礎代謝量 (REE) に対する四肢 LBM と体幹 LBM の比率への効果については検討されていない。

若年者 (18-35 歳) と中高年者 (50-77 歳) を対象とした研究では、若年者に比べて中高年者において $LBM_{\text{whole body}}$ に対する $LBM_{\text{extremities}}$ (腕と脚の LBM) の比率が有意に低かったが、 $LBM_{\text{whole body}}$ に対する LBM_{trunk} の比率は高かったことが認められた (Piers *et al.* 1998)。また、男性と比べて女性において $LBM_{\text{whole body}}$ に対する $LBM_{\text{extremities}}$ の比率が低かったが、女性では、 $LBM_{\text{whole body}}$ に対する LBM_{trunk} の比率は男性より高かったことも示されている。加えて、基礎代謝量 (REE) においては中高年者が若年者に比べて、また女性が男性に比べて低かったことも報告された (Piers *et al.* 1998)。さらに、彼らはステップワイズ重回帰分析を行っており、年齢要因は寄与したが性要因は寄与せず、 $LBM_{\text{extremities}}$ が基礎代謝量 (REE) の 78.4 % を説明し、 LBM_{trunk} は 4 % しか説明しなかったと報告している (Piers *et al.* 1998)。

一方、Gallagher *et al.* (1998、2000、2006) や Heymsfield *et al.* (2002) は、DXA 法や MRI 法を使用して基礎代謝量 (REE) といくつかの組織や器官に分けられた FFM との関係性を調査するという試みを行った。その調査とは、測定した基礎代謝量 (REE) と異なる重量と代謝率を持つ組織/器官を算出し、Elia (1992) の報告した代謝率を掛

け合わせて見積もった基礎代謝量（REE）とを比較することであった。推定した基礎代謝量（REE）は、測定した基礎代謝量（REE）と高い相関関係を示した（ $r = 0.94$ ）。Gallagher *et al.*の報告を受け、Illner *et al.*（2000）は、彼らの推定式の再現性を検討しており、十分に使用できることを報告している。また、Midorikawa *et al.*（2007）も、一般学生と比べて、体脂肪率が高く、FM、FFM が著しく多い大学相撲選手の組織/器官を MRI 法で測定し、Gallagher *et al.*の推定式を用いて基礎代謝量（REE）を推定し、実測した基礎代謝量（REE）と比較検討している。その結果、基礎代謝量（REE）の実測値と推定値が一般人の場合と同様によく一致していたことを示した。さらに、Hayes *et al.*（2002）は、DXA 法を用いて算出した組織/器官の重量に代謝率を掛け合わせたものから基礎代謝量（REE）が推定できるのかどうかを検討した。この研究の結果として、測定した基礎代謝量（REE）と推定した基礎代謝量（REE）にどんなバイアスも見られなかったことを報告している（Hayes *et al.* 2002）。Bosy-Westphal *et al.*（2004）においても、様々な体格（低体重、標準体重、過体重）の被検者における基礎代謝量（REE）が、体格の違いに関係なく組織/器官の重量から推定できたことや低体重や過体重の基礎代謝量（REE）の個人差は、ボディーサイズに対する組織/器官の重量の相違であることを報告している。これらの報告は、組織/器官の代謝率の違いではなく、組織/器官の FFM に対する割合が成人の基礎代謝量（REE）の個人差を説明するという仮説を裏付けている。

しかしながら、成人の基礎代謝量（REE）の個人差が、組織/器官の重量よりも、組織/器官の代謝率の違いによるものであるという相反する仮説を裏付ける報告もある（Deriaz *et al.* 1992、Piers *et al.* 1998、Sparti *et al.* 1997）。Piers *et al.*（1998）は、FFMによって基礎代謝量（REE）を補正したとき、中高年者は若年者に比べて基礎代謝量（REE）が低下していたことを報告しており、この基礎代謝量（REE）の低下と

LBM_{whole body}に対するLBM_{trunk}の相対的な割合の増加が、中高年者における組織の呼吸率（代謝率）の低下を示唆していると述べている。また、Sparti *et al.*（1997）は、組織/器官の重量が基礎代謝量（REE）の主要な決定要因でないと結論付けている。

これらの報告からもわかるように、基礎代謝量の個人差を説明する因子の解明は多くの研究者によって議論されているが、結論が一致しておらず、現在においても我々の課題として残っている。

6. その他の基礎代謝量に影響する諸因子

基礎代謝量は体格や身体組成の影響を受けるだけでなく、加齢、運動習慣（トレーニング）、ホルモンの影響、体温の上昇や発熱、栄養状態の善し悪し、気候の寒暖、および妊娠などにより影響を受けることが知られている（Fukagawa *et al.* 1990、Henry. 2000、Paolisso *et al.* 1995、Vaughan *et al.* 1991、Visser *et al.* 1995）。

6-1. 加齢・性の影響

基礎代謝量は加齢に伴い低下することが知られている（Kotani *et al.* 1994、Van Pelt *et al.* 2001）。運動不足に伴う中高年者の TEE 低下とエネルギーの過剰摂取は、体重増加、特に FM 増加を引き起こし、FFM を減少させ、これらが加齢に伴う基礎代謝量低下の原因のひとつであると考えられている（Fukagawa *et al.* 1990、Ravussin *et al.* 1988）。

Hunter *et al.*（2001）は、体幹の FFM は加齢に伴う身体組成の変化があっても比較的良好に保持されるが、特に下肢の筋量は減少していると報告している。しかし、彼らは加齢による基礎代謝量（REE）の低下を身体組成の変化で全て説明できるものではないことをも示唆している。一方、Bosy-Westphal *et al.*（2004）は、高齢者は若年者

に比べて FFM 当たりの基礎代謝量（REE）が低いけれども、これは FFM 当たりの代謝率が低下しているのではなく、FFM に対する組織/器官の割合における変化で説明できると報告している。

これらの報告からもわかるように、加齢によって引き起こされる基礎代謝量の低下は、組織/器官そのものの代謝率の低下によるものなのか、それとも加齢による身体組成の変化によるものなのかは議論が続いている問題である。

また、特に女性において、卵胞ホルモン（エストロゲン）や黄体ホルモン（プロゲステロン）のような性ステロイド・ホルモン濃度が脂肪組織量を調節することが報告されている（Wade and Gray, 1979）。これらの性ステロイド・ホルモンが女性の体脂肪分布に影響を及ぼしているが、閉経を迎えることで卵巣からのエストロゲンの分泌がほとんど見られなくなると、内臓脂肪量が増加して閉経前に比べて身体組成が変化する。Svendsen *et al.* (1995) の報告においても、閉経後女性が閉経前女性に比べて、内臓脂肪量を含む FM が有意に多いこと、骨格筋や骨、内臓諸器官を含む FFM が有意に低いことが観察されている。

これらのような身体組成の変化が基礎代謝量の加齢による低下に関連しているかもしれない。しかしながら、日本人の閉経後中高年女性における基礎代謝量の報告はなく、基礎代謝量に対する閉経の影響は明白にされていない。

6-2. 運動の効果

日本における運動選手の基礎代謝量についての研究は、1950 年代からなされており、河谷（1955）や鎌田（1956）によって陸上選手やラグビー選手などの運動選手における基礎代謝量（体表面積当たり及び体重当たり）についての報告がされている。河谷（1955）は、陸上競技選手（長距離選手を除く）の基礎代謝量は日本人の標準値より

少々低い値を示したが、ラグビー選手の基礎代謝量は重筋的作業者に匹敵するような著しく高い値を示していると報告している。しかし、この当時の基礎代謝測定では測定前日の練習量を制限していない。

一般的に、運動やトレーニングを行うことで、FFMが増加し、FMが減少して、基礎代謝量が増加すると考えられている。しかし、運動習慣やトレーニングによる基礎代謝量への効果についての先行研究の結果は、必ずしも一致していないのが現状である。

(1) 持久性トレーニング

先行研究において持久性トレーニングの基礎代謝量への影響については、必ずしも一致した見解が得られているわけではない。田口ら（2001）の若年女性に関する報告では、非運動群と比べてランナー群の基礎代謝量（kcal/day）に差は見られなかったが、ボート選手群の基礎代謝量（kcal/day）は有意に高値を示している。これは、非運動群と比べてランナー群は、身長、体重、FFMには差がなく、ボート選手群は、体重及びFFMが多かったことが反映している。また、ランナー群の体重は他群より低値であるため、体重当たり（kcal/kgBW/day）でみると非運動群に比べて高値を示した。しかし、FFM当たり（kcal/kgFFM/day）でみると3群間に差は認められず、女性持久性競技者のFFM当たりの基礎代謝量は非運動群と差がないことを示唆している。Van Pelt *et al.*（1997）による横断的研究の報告では、中高年ランナーの身体組成で補正された基礎代謝量（RMRadj: kcal/day）は、男女ともに若年ランナーのRMRadj及び座りがちな生活をしている若年者のRMRadjとの間に有意な差が見られず、座りがちな生活をしている高齢者のRMRadjよりも有意に高値であったことが明らかにされている。この結果から持久性運動習慣は、加齢による基礎代謝量の低下の抑制や基礎代謝量を維持する効果が示唆される。しかし、一過性のトレーニングに関する Morio

et al. (1998) の報告では、14 週間のトレーニング期間中に一時的な基礎代謝量 (REE : kcal/day) の増加が認められるものの、トレーニング後においては有意な増加は認められなかったことが示唆されている。

(2) レジスタンストレーニング

レジスタンストレーニングは加齢に伴う筋量低下の抑制や転倒防止といった高齢者の身体的自立度の保持に重要であることから、高齢者の健康づくりのための運動として最近注目されており、中高年者において基礎代謝量を増大させる効果があると考えられている。*Williamson et al.* (1997) は、中高年男性における一過性のレジスタンス運動が基礎代謝量 (BMR) に与える影響について検討し、トレーニング 48 時間後の基礎代謝量 (BMR : kcal/day) が増大していたことを報告している。一方、*Dolezal et al.* (1998) は、10 週間のレジスタンストレーニング、持久性トレーニング、混合トレーニングを行った若年男性 (少なくとも 1 年以上、3 日/週のトレーニングを行っている活動的な若年男性) に関する報告をしている。トレーニング前は、FFM も基礎代謝量 (REE) も 3 群間で有意な差はなかったが、レジスタンストレーニング群と混合トレーニング群は FFM および基礎代謝量 (REE : kcal/day) が有意に増加し、持久性トレーニング群では FFM は変化がなかったが、FM が有意に減少して、基礎代謝量 (REE : kcal/day) も減少したことが述べられている。さらに、26 週間のレジスタンストレーニングを行った高齢男女について *Hunter et al.* (2000) が報告しており、FFM 及び基礎代謝量 (REE : kcal/day) が有意に増加したことが示されている。また、活動代謝量も増加傾向にあったことも述べている。

これらの研究報告から、持久性トレーニングおよびレジスタンストレーニングを行うことによって一様に基礎代謝量が向上するわけではなさそうである。トレーニング

をすると FFM が増大し、基礎代謝量 (kcal/day) が増加するという報告がいくつか見受けられるが、決して FFM 当たりの代謝量が増えているというわけではないかもしれない。また、FFM の増加は、筋肉量の増加だけではなく骨や臓器の重量の増大の可能性も考えられる。安静時における骨格筋や諸臓器の代謝量が増えるかどうかはまだ十分に解明されていない。

従って、基礎代謝量に及ぼす運動トレーニングの影響を検討する際には、身体組成、運動の強度、頻度や期間、対象者の日常身体活動量や性・年齢、さらに有酸素性作業能（最大酸素摂取量）、食生活状況などの要因も考慮しなければならないと考えられる。

7. 本論文の目的

以上に示した先行研究から、日本における基礎代謝基準値は、1969 年に策定された体表面積当たりの基礎代謝基準値 (kcal/m²/h) から推定された体重当たりの基礎代謝量が使用されており、実測値と比較検討しているといえども、中高年者にいたっては実測されたデータに基づいているとは言い難い。特に、閉経後の中高年女性については、身体組成と関連させた基礎代謝量の測定がほとんど行われていないことは明らかである。

また、女性は閉経を迎えることで女性ホルモンであるエストロゲンの分泌が低下すること、卵巣でつくられるホルモンであるプロゲステロンの低下により大腿部への脂肪の蓄積が抑制されること、また、脂肪分解の促進と抑制のバランスが崩れることによって腹部への脂肪蓄積が増加すると言われている（小宮ら 1988、湯浅 2004）。このような閉経による性ホルモン分泌の変化に加え、さらに、運動不足によるエネルギー消費量の低下とエネルギーの過剰摂取によって、体脂肪の蓄積増加を引き起こすことが、その後の生活習慣による疾病の発症につながっていることが問題となっている

(Rising *et al.* 1996、Seidell *et al.* 1992、Weinsier *et al.* 1995)。このような生活習慣病の危険リスクが高まる閉経後中高年女性の身体組成と基礎代謝量との関係について、十分な検討がされていないのは事実である。

そこで、本研究では、閉経後中高年女性の身体組成と基礎代謝量の関係に注目するとともに、加齢や呼吸循環器系機能、血液生化学諸指標との関連についても検討することを目的とする。

本研究を実施することで得られたデータは、閉経を迎えた女性の健康増進・維持におけるエネルギー代謝の基礎データを知らしめることのみならず、閉経後の中高年女性に対する推定エネルギー必要量の算出における科学的根拠を示し、生活習慣病の発症予防及び改善に必要な基本情報を提供することが期待できる。

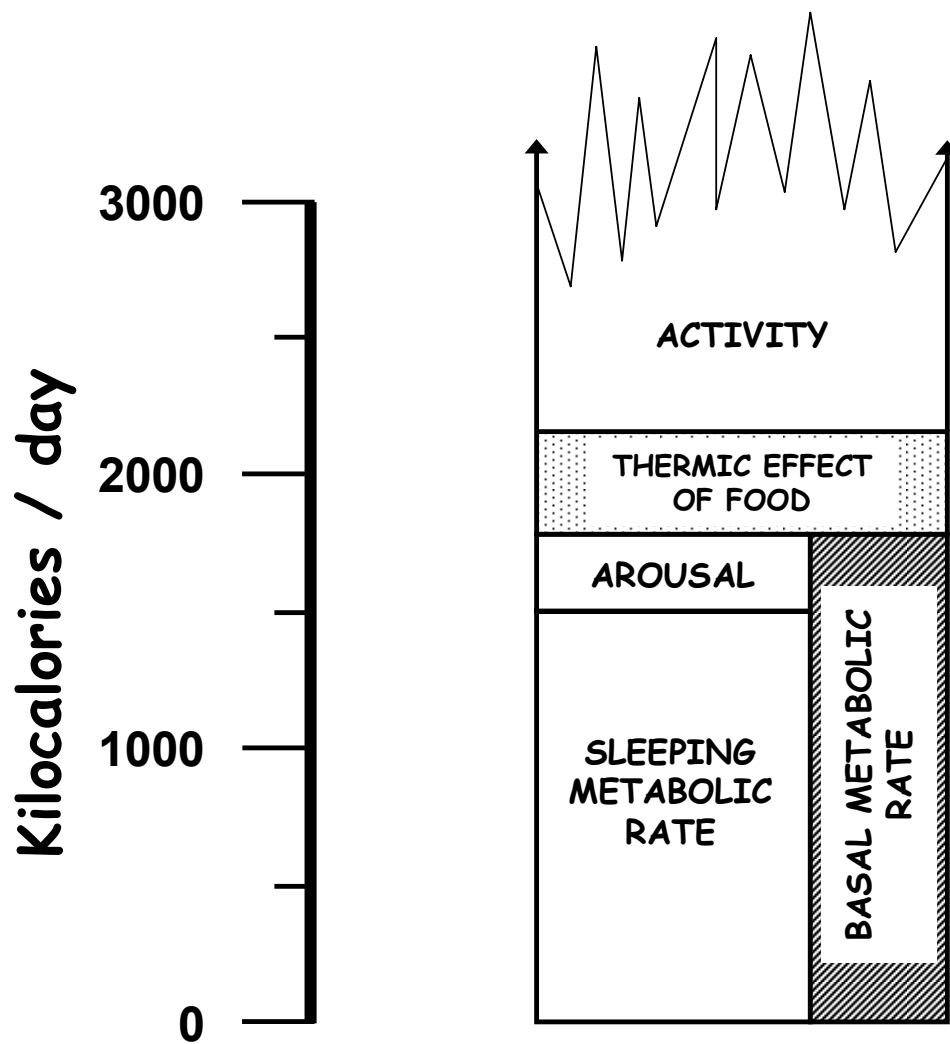
8. 本論文の構成

研究課題 1 (第 2 章): 閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量 (BMR) に及ぼす身体組成の影響について検討する。

研究課題 2 (第 3 章): 有酸素性能力の異なる健康な若年成人女性及び閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量 (REE) と二重エネルギー X 線吸収法 (DXA 法) によって測定した身体組成との関連を検討する。

研究課題 3 (第 4 章): 健康な若年成人女性及び閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量 (REE) に対する血中のホルモン及びアディポサイトカインの影響について検討する。

資料 1 1日のエネルギー消費量 (Total energy expenditure ; TEE)



Components of daily energy expenditure in man. This example is an approximation for a 70 kg man (10% body fat) fed 3000 kcal/day. (Ravussin *et al.* 1989)

Basal metabolic rate \doteq Resting metabolic rate

資料 2 代表的な基礎代謝量（BMR）の推定式

Harris-Benedict 式（1919）

BMR (kcal/day), BW: body weight (kg), Ht: height (cm)

Male : $BMR = 66.4730 + 13.7516 \times BW + 5.0033 \times Ht - 6.7550 \times Age$

Female : $BMR = 655.0955 + 9.5634 \times BW + 1.8496 \times Ht - 4.6756 \times Age$

Schofield 式（1985）

BMR (MJ/day), BW: body weight (kg), Ht: height (m), m: male, f: female

[1 MJ = 238.889 kcal]

Children: under 3 yrs

m : $BMR = 0.294 \times BW - 0.127$

m : $BMR = 0.0007 \times BW + 6.349 \times Ht - 2.584$

f : $BMR = 0.244 \times BW - 0.130$

f : $BMR = 0.068 \times BW + 4.281 \times Ht - 1.730$

3 to 10 yrs

m : $BMR = 0.095 \times BW + 2.110$

m : $BMR = 0.082 \times BW + 0.545 \times Ht + 1.736$

f : $BMR = 0.085 \times BW + 2.033$

f : $BMR = 0.071 \times BW + 0.677 \times Ht + 1.553$

10 to 18 yrs

m : $BMR = 0.074 \times BW + 2.754$

m : $BMR = 0.068 \times BW + 0.574 \times Ht + 2.157$

f : $BMR = 0.056 \times BW + 2.898$

f : $BMR = 0.035 \times BW + 1.948 \times Ht + 0.837$

Adults: 18 to 30 yrs

m : $BMR = 0.063 \times BW + 2.896$

m : $BMR = 0.063 \times BW - 0.042 \times Ht + 2.953$

f : $BMR = 0.062 \times BW + 2.036$

f : $BMR = 0.057 \times BW + 1.184 \times Ht + 0.411$

30 to 60 yrs

$$m : \text{BMR} = 0.048 \times \text{BW} + 3.653$$

$$m : \text{BMR} = 0.048 \times \text{BW} - 0.011 \times \text{Ht} + 3.670$$

$$f : \text{BMR} = 0.034 \times \text{BW} + 3.538$$

$$f : \text{BMR} = 0.034 \times \text{BW} + 0.006 \times \text{Ht} + 3.530$$

Over 60 yrs

$$m : \text{BMR} = 0.049 \times \text{BW} + 2.459$$

$$m : \text{BMR} = 0.038 \times \text{BW} + 4.068 \times \text{Ht} - 3.491$$

$$f : \text{BMR} = 0.038 \times \text{BW} + 2.755$$

$$f : \text{BMR} = 0.033 \times \text{BW} + 1.917 \times \text{Ht} + 0.074$$

FAO/WHO/UNU 式 (1985)

BMR (MJ/day), BW: body weight (kg), [1 MJ = 238.889 kcal]

Children: under 3 yrs

$$\text{Male} : \text{BMR} = 0.255 \times \text{BW} - 0.226$$

$$\text{Female} : \text{BMR} = 0.255 \times \text{BW} - 0.214$$

3 to 10 yrs

$$\text{Male} : \text{BMR} = 0.0949 \times \text{BW} + 2.07$$

$$\text{Female} : \text{BMR} = 0.0941 \times \text{BW} + 2.09$$

10 to 18 yrs

$$\text{Male} : \text{BMR} = 0.0732 \times \text{BW} + 2.72$$

$$\text{Female} : \text{BMR} = 0.0510 \times \text{BW} + 3.12$$

Adults: 18 to 30 yrs

$$\text{Male} : \text{BMR} = 0.0640 \times \text{BW} + 2.84$$

$$\text{Female} : \text{BMR} = 0.0615 \times \text{BW} + 2.08$$

30 to 60 yrs

$$\text{Male} : \text{BMR} = 0.0485 \times \text{BW} + 3.67$$

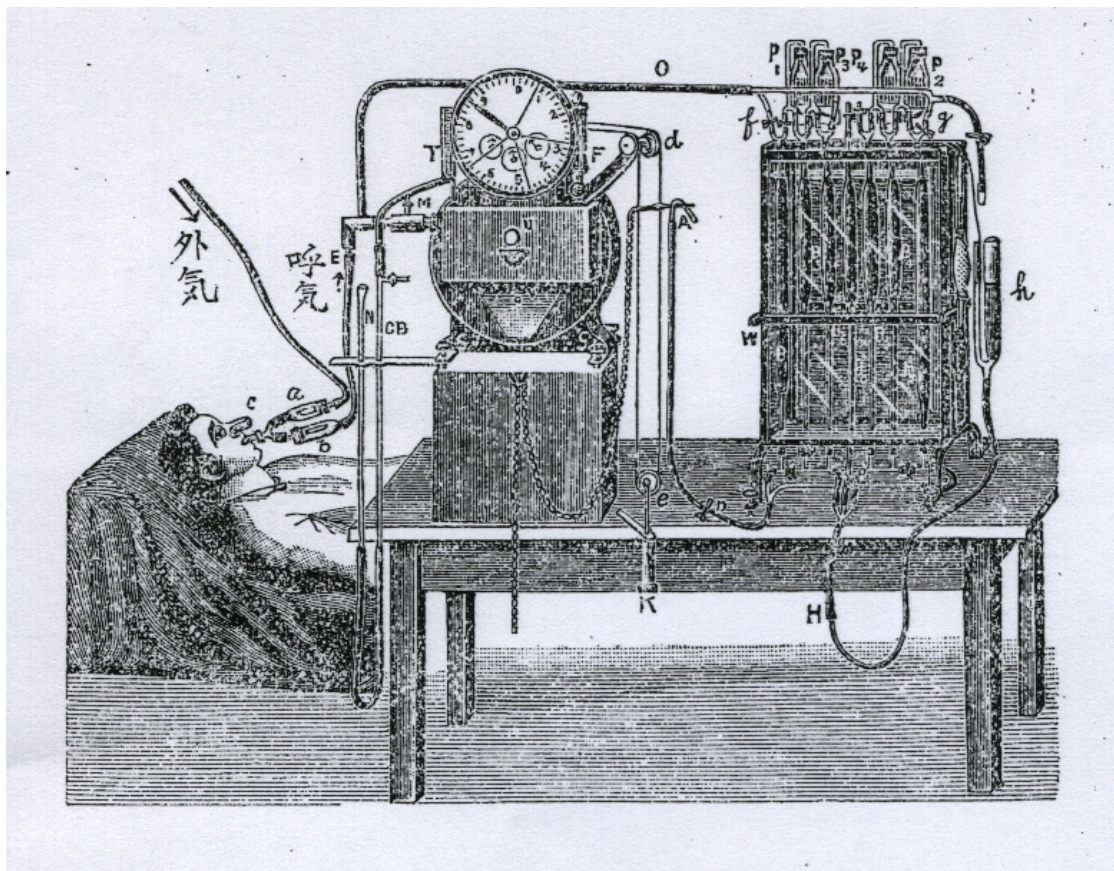
$$\text{Female} : \text{BMR} = 0.0364 \times \text{BW} + 3.47$$

Over 60 yrs

$$\text{Male} : \text{BMR} = 0.0565 \times \text{BW} + 2.04$$

$$\text{Female} : \text{BMR} = 0.0439 \times \text{BW} + 2.49$$

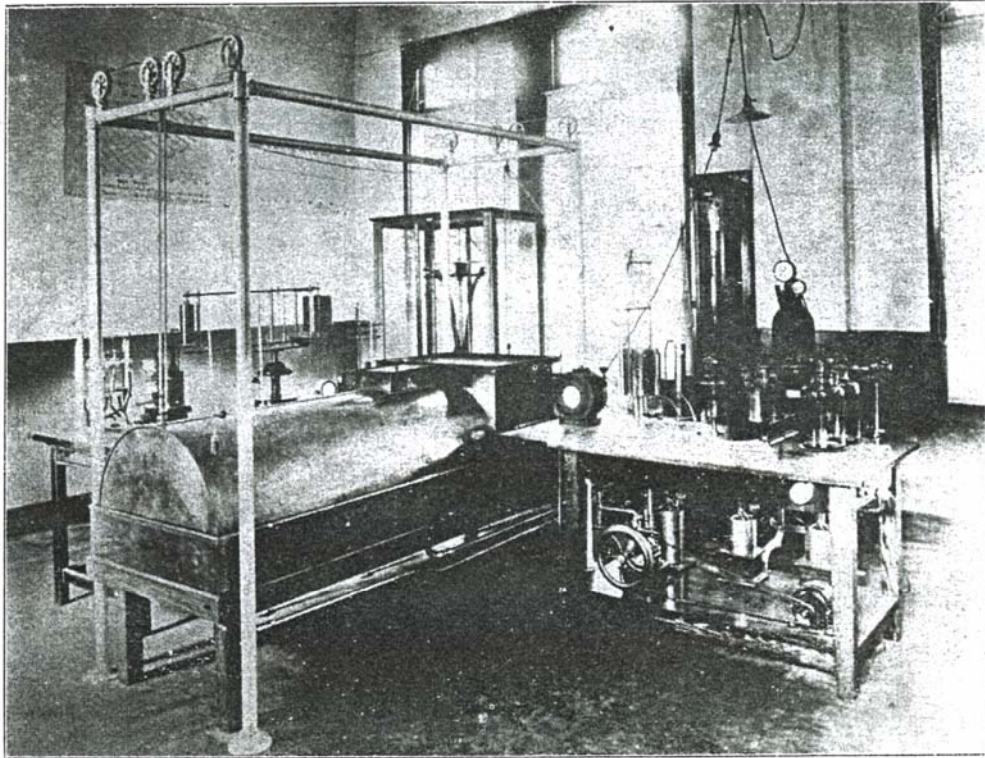
資料3 ツンツ ゲッペルト呼吸装置



1920年に陸軍において、日本人の安静時及び行軍その他兵業と関係ある諸運動に関する代謝量を測定する際に用いられた呼吸装置。この装置の長所として、短時間の試験に適していること、使用法が簡便な上、詳細なデータを得られること、運動の影響を研究することに適していることなどが挙げられている。一方、短所としては、全物質及び勢力代謝の詳細なる研究には適していないこと、心臓や肺の疾患のある者には適していないことなどが挙げられている。(吉田 1920)

資料 4 ベネディクト呼吸装置

ベネディクト氏呼吸装置



栄養研究所（現在：（独）国立健康・栄養研究所）の佐伯 矩博士が大正 9 年にボストン、カーネギー栄養研究所所長であったベネディクト博士に依頼し、当時最も進歩していてかつ使用の簡便なカロリーメーター及び呼吸装置を取り入れた。高比良は、カーネギー栄養研究所及びマサチューセッツ病院においてベネディクト博士及びトルボー博士から代謝量測定の技術の指導を受け、その技術を日本に持ち帰った。（高比良 1925 (a)）

資料 5 エネルギー代謝量に関する資料一覧（1952～1966 年）

| 文献 番号 | 報告年 | 対象特性 | 性別 | 年齢 | 測定人数 | 測定状態 | 報告者 | 備考 |
|----------|------|------------|----|---------------------|--------------|--------------------------|-----|---|
| 《長崎大学》 | | | | | | | | |
| 1 | 1952 | 小中学生 | 男女 | 11～14歳 | 71 | 記載なし | 中村 | 農村部の中学生。男42名、女29名。春夏秋冬測定。歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。女子は生理後1週間以内。 |
| 2 | 1954 | 製鋼所 従業員 | 男 | 21～40歳 | 62 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 藤本ら | 職業別。7、8、9月。夏場の代謝測定。歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。 |
| 3 | 1956 | 小学生 | 男女 | 4～6年生 | 216 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 北村 | 4～6、10～12月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。 |
| 4 | 1956 | 中学生 | 男 | 12～14歳 | 270 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 一瀬 | 春秋。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。活動強度3段階、肥瘦度3段階 |
| 5 | 1956 | 中学生 | 女 | 12～14歳 | 182 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 沖洲 | 10、11月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。活動強度3段階、肥瘦度3段階 生理があるものは、生理後1週間以内。 |
| 6 | 1956 | 青年期者 | 男 | 18～21歳 | 125 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 山本 | 各種職業。4～7、9～11月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。職業別の比較。肥瘦度との関係 |
| 7 | 1956 | 青年期者 | 女 | 18～21歳 | 135 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 古川 | 各種職業。4～7、9～11月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。職業別の比較。肥瘦度との関係 生理後1週間以内。 |
| 8 | 1958 | 乳幼児 | 男女 | 生後1ヶ月 ～ 2歳4ヶ月 | 59 延べ292回 | 基礎代謝？ 早朝空腹時 安静時代謝？ | 富田 | 乳幼児収容所の人口栄養児。59名のうち可能な者を毎日測定。延べ292回測定。早朝ウトウトした状態で兜マスクにより呼吸採取。収容所にて測定。 |
| 9 | 1958 | 高校生 | 男 | 15～17歳 | 103 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 巽 | 6、7、10、11月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。活動強度3段階、肥瘦度3段階 |
| 10 | 1958 | 高校生 | 女 | 15～17歳 | 114 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 巽 | 6、7、10、11月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。活動強度3段階、肥瘦度3段階 生理後1週間以内。 |
| 11 | 1959 | 中学生 | 女 | 2年生 | 18 延べ216回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 川越 | 毎月12ヶ月間、初潮の影響観察。歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。生理後1週間以内。 |
| 12 | 1960 | 乳児 | 男女 | 生後12ヶ月 まで | 209 | 安静時代謝 | 米子 | 一般家庭の健康乳児。男102名（母乳栄養78名、混合栄養24名）、女107名（母乳栄養84名、混合栄養23名）。春、秋。午前中ウトウトした状態で睡眠に入る直前を選び、また口や手先をわずかに動かす程度で兜マスクにより呼吸採取。保健所あるいは産院で測定。 |
| 13 | 1960 | 幼児 | 男女 | 1歳6ヶ月 ～ 2歳6ヶ月 | 110 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 富田ら | 炭坑住宅の幼児。男67名、女43名。5、6、10～12月。早朝ウトウトした状態で兜マスクにより呼吸採取。覚醒後、自宅より実験室に移動。 |
| 14 | 1960 | 幼児 | 男女 | 2歳7ヶ月 ～ 4歳6ヶ月 | 273 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 重川 | 炭坑住宅地の幼児。男145名、女128名。早朝空腹覚醒時に兜マスクにより呼吸採取。理想的な条件に近づくまで複数回実施。覚醒後、自宅より実験室に移動。 |
| 15 | 1960 | 小児 | 男 | 4～6歳 | 205 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 富田 | 炭坑地区の就学前小児。6、7、9～11月。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。 |
| 16 | 1960 | 小児 | 女 | 4～6歳 | 226 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 吉田 | 幼稚園児童。春、秋。起床後歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。 |
| 17 | 1960 | 幼児 | 男女 | 2～4歳 | 45 延べ585回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 近藤 | 養護施設。毎月13ヶ月間季節変動調べ。早朝ウトウトしている状態で兜マスクにより呼吸採取。覚醒後、自宅より実験室に移動。 |
| 18 | 1962 | 高校生 | 女 | 2年生 | 18 延べ182回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 重城 | 毎月13ヶ月間季節変動調べ。歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。生理後1週間以内。 |
| 19 | 1962 | 高齢者 | 男女 | 60歳以上 | 19 延べ247回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 鉾石 | 養老院入寮者。男9名、女12名。毎月13ヶ月間季節変動調べ。タクシーにて実験室へ。ダグラスバッグ法。 |
| 20 | 1963 | 小学生 | 男 | 1年生 | 17 延べ238回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 山崎 | 小学生、幼児。毎月14ヶ月間季節変動調べ。覚醒後、自宅より実験室に移動。ダグラスバッグ法。活動強度3段階。 |
| 21 | 1963 | 小学生 | 女 | 1年生 | 18 延べ252回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 黒田 | 小学生、幼児。毎月14ヶ月間季節変動調べ。覚醒後、自宅より実験室に移動。ダグラスバッグ法。活動強。 |
| 22 | 1963 | 中学生 | 男 | 1年生 | 18 延べ182回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 浜口 | 毎月14ヶ月間季節変動調べ。覚醒後、自宅より実験室に移動。ダグラスバッグ法。 |

| 文献 番号 | 報告年 | 対象特性 | 性別 | 年齢 | 測定人数 | 測定状態 | 報告者 | 備考 |
|----------|------|-------|----|--------|---------------|----------------|-----|--|
| 23 | 1963 | 成人 | 女 | 20歳代 | 21 延べ252回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 中林 | 各種職業。活動強度別3群。 毎月12ヶ月間季節変動調べ。歩行にて実験室へ。 ダグラスバッグ法。生理後1週間以内。 |
| 24 | 1963 | 成人 | 女 | 30～39歳 | 100 延べ130回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 富永 | 炭鉱地区在住の主婦。毎月13ヶ月間季節変動調べ。 歩行にて実験室へ。ダグラスバッグ法。 生理後1週間以内。 |
| 25 | 1963 | 高校生 | 男 | 1年生 | 22 延べ286回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 吉田 | 毎月13ヶ月間季節変動調べ。歩行にて実験室へ。 ダグラスバッグ法。 |
| 26 | 1963 | 成人 | 男 | 20歳代 | 18 延べ182回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 竹村 | 各種職業。活動強度別3群。 毎月13ヶ月間季節変動調べ。歩行にて実験室へ。 ダグラスバッグ法。 |
| 27 | 1964 | 成人 | 男 | 30～39歳 | 25 延べ325回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 隈部 | 炭坑従業員。活動強度別3群。 毎月13ヶ月間季節変動調べ。歩行にて実験室へ。 ダグラスバッグ法。 |
| 28 | 1965 | 中年者 | 男 | 40歳代 | 23 延べ345回 | 早朝空腹時 安静時代謝 | 吉国 | 炭坑従業員。活動強度別3群。 毎月15ヶ月間季節変動調べ。歩行にて実験室へ。 ダグラスバッグ法。 |
| 《徳島大学》 | | | | | | | | |
| 29 | 1951 | 健康高校生 | 男 | 17歳 | 100 | 基礎代謝？ | 上田 | 9月。記載はないが被検者は前夜から研究室に 宿泊と推定。覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 |
| 30 | 1952 | 高校生 | 男 | 17歳 | 100 | 記載なし | 上田 | 9月。運動部61名、非運動部39名。 ダグラスバッグ法。 |
| 31 | 1952 | 健康中学生 | 男 | 14歳 | 100 | 基礎代謝？ | 上田 | 6月。記載はないが被検者は前夜から研究室に 宿泊と推定。覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 |
| 32 | 1953 | 中学生 | 女 | 13歳 | 97 | 基礎代謝 | 村田 | 9月。初潮あり30名、なし67名。 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 33 | 1953 | 健康高校生 | 女 | 17歳 | 120 | 基礎代謝？ | 村田 | 高校生、看護学生、看護婦、紡績工。7月。 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 34 | 1953 | 健康高校生 | 女 | 18歳 | 93 | 基礎代謝？ | 村田 | 高校生、看護学生、紡績工。7月。 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 35 | 1953 | 健康中学生 | 女 | 13歳 | 81 | 基礎代謝？ | 村田 | 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 36 | 1953 | 健康中学生 | 女 | 14歳 | 66 | 基礎代謝？ | 村田ら | 11月。記載はないが被検者は前夜から研究室に 宿泊と推定。覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 37 | 1956 | 中高校生 | 女 | 15歳 | 60 | 基礎代謝？ | 村田ら | 10月。記載はないが被検者は前夜から研究室に 宿泊と推定。覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 38 | 1957 | 乳児 | 男女 | 2,3ヶ月 | 68 | 食後の 安静時代謝 | 藤川 | 11、12月。少量の食物摂取の昼間睡眠中。 兜マスクにて呼気採取。 |
| 39 | 1957 | 乳児 | 男女 | 4～7ヶ月 | 65 | 食後の 安静時代謝 | 藤川 | 11、12月。少量の食物摂取の昼間睡眠中。 兜マスクにて呼気採取。 |
| 40 | 1958 | 成人 | 男 | 25歳 | 43 | 基礎代謝 | 坂東 | 学生、俸給生活者。4～6月。 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 |
| 41 | 1959 | 健康乳児 | 男女 | 2～7ヶ月 | 280 | 食後の 安静時代謝 | 藤本 | 男133名、女147名。少量の食物摂取の昼間睡眠中。 兜マスクにて呼気採取。 |
| 42 | 1960 | 健康新生児 | 男 | 2,3日児 | 99 | 食後の 安静時代謝 | 細川 | 哺乳後熟睡した1時間経過後、兜マスクにて呼気採取。 |
| 43 | 1966 | 成人 | 女 | 25歳 | 52 | 基礎代謝 | 浦松 | 俸給生活者、主婦。8月。 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 44 | 1966 | 成人 | 女 | 26歳 | 23 | 基礎代謝？ | 浦松 | 事務員、看護婦、主婦。8月。 記載はないが被検者は前夜から研究室に宿泊と推定。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |

| 文献 番号 | 報告年 | 対象特性 | 性別 | 年齢 | 測定人数 | 測定状態 | 報告者 | 備考 |
|----------|------|------------|----|-------|------|------------------------|-----|---|
| 《昭和医科大学》 | | | | | | | | |
| 45 | 1952 | 小中高生 | 男女 | 8～18歳 | 157 | 基礎代謝 | 指田 | 夏。前夜から研究室に宿泊。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 46 | 1955 | 大学 運動選手 | 男 | 記載なし | 120 | 基礎代謝 | 河谷 | 学生ラグビー選手。9、10月。前夜から研究室に宿泊。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 |
| 47 | 1955 | 幼児 | 男女 | 2～6歳 | 47 | 基礎代謝及び 空腹時 安静時代謝 | 池田 | 7、8月。睡眠中、覚醒後の時間的变化。 小児用小型マスクで呼気採取。 |
| 48 | 1956 | 大学 運動選手 | 男女 | 記載なし | 63 | 基礎代謝 | 鎌田 | 学生スポーツ選手。夏、秋。前夜から研究室に宿泊。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 |
| 49 | 1956 | 小中高生 | 男女 | 7～18歳 | 120 | 基礎代謝 | 伊原 | 農村地域の小中高生。夏。前夜から研究室に宿泊。 覚醒後ダグラスバッグ法にて呼気採取。 生理日との関係記載なし。 |
| 50 | 1957 | 乳幼児 | 男女 | 1日～3歳 | 75 | 基礎代謝 | 浅川 | 乳児院及び産院の乳幼児。夏。 ビニール袋をかぶせて呼気採取。 |

(山本ら 2001)

引用文献

1. 中村 正：発育期児童の熱量要求量の研究，長崎医学会雑誌，27, 759-768 (1952)
2. 藤本薫喜：三菱長崎製鋼所における従業員の夏期基礎代謝及び労作代謝について，長崎総合公衆衛生学会雑誌，3, 252-258 (1954)
3. 北村生勝：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 小学校高学年篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，5, 19-35 (1956)
4. 一瀬忠行：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 中学生男子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，5, 196-219 (1956)
5. 沖洲吉博：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 中学生女子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，5, 169-195 (1956)
6. 山本千二：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 青年期男子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，5, 100-118 (1956)
7. 古川大典：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 青年期女子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，5, 80-99 (1956)
8. 富田正雄：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 乳幼児-人工栄養児篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，7, 251-261 (1958)
9. 巽 高郎：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 高等学校生徒男子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，7, 262-277 (1958)
10. 巽 高郎：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 高等学校生徒女子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，7, 278-290 (1958)

11. 川越武信：発育期日本人の基礎代謝の研究 初経来潮にともなう基礎代謝の推移，長崎総合公衆衛生学雑誌，**8**, 209-245 (1959)
12. 米子永義：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 母乳栄養児及び混合栄養児篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**9**, 531-546 (1960)
13. 富田英典，重川嗣郎，射場政人，米子永義，重城範嘉：発育期日本人の基礎代謝の研究 幼児-1 歳 6 カ月-2 歳 6 カ月篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**9**, 521-529 (1960)
14. 重川嗣郎：発育期日本人の基礎代謝に関する研究 幼児-2 歳 7 カ月-4 歳 6 カ月篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**9**, 473-482 (1960)
15. 富田英明：日本人発育期の基礎代謝の研究 就学前小児 男子篇，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**9**, 185-198 (1960)
16. 吉田正豊：日本人発育期幼児の基礎代謝の研究 4-6 歳，女児編，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**9**, 1-8 (1960)
17. 近藤義昭：日本人幼児の基礎代謝の季節的変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**9**, 49-77 (1960)
18. 重城範嘉：日本人高校生女子基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌，**11**, 1-13 (1962)
19. 銚石武一郎：日本人老人 (60 才以上) の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌，**11**, 1-12 (1962)
20. 山崎洋二：日本人発育期児童の基礎代謝の季節変動 (小学校低学年 男子篇)，長崎総合公衆衛生学雑誌，**12**, 14-25 (1963)
21. 黒田昌樹：日本人発育期児童の基礎代謝の季節変動 (小学校低学年 女子篇)，長崎総合公衆衛生学雑誌，**12**, 1-13 (1963)
22. 浜口美博：日本人中学生男子の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌，**12**, 39-55 (1963)
23. 中林勝秀：日本人女子 (20 才台) の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌，**12**, 13-24 (1963)
24. 富永賢一郎：日本人女子 (30 才台) の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌，**12**, 1-12 (1963)
25. 吉田博利：日本人高校生男子の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**12**, 26-38 (1963)
26. 竹村勝公：日本人男子 (20 才台) の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**12**, 26-51 (1963)
27. 隈部平昭：炭坑労務者 (30 才台坑内夫) の労作別より見た基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌，**13**, 23-39 (1964)
28. 吉国重正：日本人男子 (40 才台) の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌，**40**, 413-438 (1965)
29. 上田豊晴：日本人の基礎新陳代謝の研究 青年男子の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**2**, 281-288 (1951)
30. 上田豊晴：日本人の基礎新陳代謝の研究 高等学校運動選手の基礎代謝について，四国医学会雑誌，**3**, 23-27 (1952)

31. 上田豊晴：日本人の基礎新陳代謝の研究 14 才男子の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**3**，248-252 (1952)
32. 村田 栄：初潮の到来と基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**4**，266-270 (1953)
33. 村田 栄：日本人の基礎新陳代謝の研究 青年女子 17 才の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**4**，60-67 (1953)
34. 村田 栄：日本人の基礎新陳代謝の研究 青年女子 18 才の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**4**，68-72 (1953)
35. 村田 栄：日本人の基礎新陳代謝の研究 13 才女子の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**4**，262-265 (1953)
36. 村田 栄，大黒芳太郎：日本人の基礎新陳代謝の研究 14 才女子の基礎新陳代謝について，医学と生物学，**38**，82-84 (1953)
37. 村田 栄，大黒芳太郎，前田 弘：日本人の基礎新陳代謝の研究 15 才女子の基礎新陳代謝について，医学と生物学，**38**，161-163 (1956)
38. 藤川秀雄：日本人の基礎新陳代謝の研究 生後第 2 及び第 3 ケ月の健康男乳児の基礎代謝について，四国医学会雑誌，**11**，370-378 (1957)
39. 藤川秀雄：日本人の基礎新陳代謝の研究 生後第 4 より第 7 ケ月までの健康男乳児の基礎代謝について，四国医学会雑誌，**11**，379-387 (1957)
40. 坂東定矩：日本人の基礎新陳代謝の研究 成人男子 25 才の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**13**，426-432 (1958)
41. 藤本敏昭：日本人の基礎新陳代謝の研究 生後 2-7 ケ月までの健康女乳児の基礎新陳代謝，四国医学会雑誌，**14**，276 (1959)
42. 細川隆海：日本人新生児基礎新陳代謝の研究 健康男子新生児について，四国医学会雑誌，**16**，695-699 (1960)
43. 浦松金吉：日本人の基礎新陳代謝の研究 成人女子 25 才の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**22**，461-467 (1966)
44. 浦松金吉：日本人の基礎新陳代謝の研究 成人女子 26 才の基礎新陳代謝について，四国医学会雑誌，**22**，468-472 (1966)
45. 指田吾一：青少年の代謝能に関する研究(其の一) 基礎代謝の年齢的变化に就て，体力科学，**2**，93-100 (1952)
46. 河谷正光：運動選手の基礎代謝に就いて，体力科学，**5**，56-61 (1955)
47. 池田 駿：小児と成人の基礎代謝状態の相違に就いて，体力科学，**4**，123-129 (1955)
48. 鎌田喜雄：運動選手の基礎代謝に関する研究 第 2 報 摂取食物の量と基礎代謝との関係について，体力科学，**5**，201-206 (1956)
49. 伊原茂一：農村青少年の基礎代謝に就いて，体力科学，**6**，45-51 (1956)
50. 浅川桂次：乳幼児の基礎代謝に就いて (第 2 報)，体力科学，**6**，220-226 (1957)

資料 6 全身及び主な組織/器官のエネルギー代謝量

| 臓器・組織 | 重量 (kg) | エネルギー代謝量 | | 比率 (%) |
|-------|------------|---------------|------------|-----------|
| | | (kcal/kg/day) | (kcal/day) | |
| 全身 | 70 | 24 | 1,700 | 100 |
| 骨格筋 | 28.0 | 13 | 370 | 22 |
| 脂肪組織 | 15.0 | 4.5 | 70 | 4 |
| 肝臓 | 1.8 | 200 | 360 | 21 |
| 脳 | 1.4 | 240 | 340 | 20 |
| 心臓 | 0.33 | 440 | 145 | 9 |
| 腎臓 | 0.31 | 440 | 137 | 8 |
| その他 | 23.16 | 12 | 277 | 16 |

体重 70kg で体脂肪率が約 20%の男性を想定したときの全身及び主な組織/器官のエネルギー代謝量である。(Elia. 1992)

第 2 章 閉経後中高年女性の基礎代謝量と身体組成

～脂肪量・除脂肪量に注目した分析～

ABSTRACT

The basal metabolic rate (BMR) of 70 postmenopausal women (age: 60.6 ± 4.2 yrs, height: 154.9 ± 5.2 cm, body weight (BW): 52.7 ± 6.2 kg; mean \pm SD) was evaluated in relation to body composition (body fat mass (FM): 17.3 ± 3.9 kg, fat free mass (FFM): 35.3 ± 3.6 kg). BMR was $1,148 \pm 126$ kcal/day, 21.9 ± 2.2 kcal/kgBW/day, and 32.7 ± 3.2 kcal/kgFFM/day in all subjects. BMR (kcal/day) significantly correlated with BW ($r = 0.635$, $p < 0.001$) and FFM ($r = 0.598$, $p < 0.001$). When divided into two groups, lower % body fat group (LF) and higher % body fat group (HF), BW and FM were significantly higher in HF than in LF (BW: 56.6 ± 6.4 vs 51.0 ± 5.3 kg, FM: 21.7 ± 2.8 vs 15.5 ± 2.7 kg, $p < 0.001$, respectively). No difference was observed in FFM between the two groups (34.9 ± 3.9 vs 35.5 ± 3.5 kg). BMR (kcal/kgBW/day) was lower in HF than in LF (21.0 ± 1.8 vs 22.3 ± 2.3 , $p < 0.05$), but HF group had higher BMR in terms of kcal/kgFFM/day than LF (34.0 ± 3.1 vs 32.1 ± 3.1 , $p < 0.05$). Multiple regression analysis was performed to predict BMR. A single predictor FFM and a pair of predictors FFM and FM explained 35.7 % and 42.7 % of the variance of BMR. This study suggested that a decrease in FFM is a major factor in affecting the reduction of BMR in postmenopausal women, whereas FM gained after menopause could be considered to have metabolic activity related to BMR.

Key words: basal metabolic rate, body composition, postmenopausal women

1. 緒言

安静時代謝量（Resting metabolic rate ; RMR）、活動に費やすエネルギー量（活動代謝量 : Physical activity）、食事による産熱効果（Thermic effect of food ; TEF）の総和が 1 日のエネルギー消費量（Total energy expenditure ; TEE）である。RMR は TEE の約 60~80 %を占めており（Tataranni *et al.* 1995）、中高年者を対象として、運動と食生活の改善により健康増進を計るための基礎資料として、中高年者の基礎代謝量の現状や基礎代謝量と運動習慣・身体組成など様々な変動要因との関連を明らかにすることは非常に重要である。

基礎代謝量は早朝空腹時の RMR であり、これまでも国内外で多くのデータが報告されている。これまでの研究報告によると、基礎代謝量は加齢とともに低下すること（Fukagawa *et al.* 1990、Vaughan *et al.* 1991、Visser *et al.* 1995）、体格・身体組成の影響を大きく受けていること（Harper. 1998、Paolisso *et al.* 1995、Tataranni *et al.* 1995）が明らかにされている。また、中高年者の運動不足に伴う TEE の低下による体重増加は、体脂肪量（Fat mass ; FM）の増加によって引き起こされ（西田ら 2001）、除脂肪量（Fat free mass ; FFM \equiv LBM ; Lean body mass）はむしろ減少していることがその大きな原因であると考えられている。

しかし、わが国における高齢者を対象として基礎代謝量を測定した研究報告は、鈴木ら（1955、1957(b)、1959(a)）の東京都内の養老院に居住する 60 歳以上の高齢者を対象とした研究や鉾石（1962）による 60 歳以上の男性を対象とした研究であり、データがとても古い。また、最近のデータとしては秋田（1991）や松田（1992）の青森県在住の老人ホーム居住者を含む 70 歳以上の超高齢者を対象とした報告と横関（1993）による 65 歳以上の男女を対象とした研究が主であり、閉経後の中高年女性に関する基礎代謝量のデータは全くみられず、中高年女性における基礎代謝量と身体

組成の関連についても明らかにされていないのが現状である。

そこで本研究では、閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響について検討することを目的として実施した。

2. 方法

2-1. 被検者

対象とした被検者は、閉経後の健康な中高年女性（年齢範囲：53-69 歳）であり、月 1 回のウォーキングをしているグループから 21 名、週に 3~5 回のウォーキングをしているグループから 18 名、週に 1~2 回のスイミング・トレーニングを行っているグループから 11 名、さらに都内のスイミング・スクールで週に数回泳ぎ、競技会にも積極的に参加しているグループから 20 名の合計 70 名である。

本研究は独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神を遵守し、被検者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、文書により同意を得て諸検査を実施した。

2-2. 身体組成

身長及び体重は、排尿を済ませた早朝空腹時に測定し、body mass index (BMI : kg/m^2) を算出した。体脂肪率は、空気置換法体脂肪測定装置 BOD POD Body Composition System (Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA) (Miyatake *et al.* 1999) を用いて体密度を測定し、Brožek *et al.* (1963) の式により算出した。また、得られた体重と体脂肪率から FFM と FM を算出した。

2-3. 基礎代謝量の測定

各被検者は測定前夜の午後 7 時までには通常通りの夕食を摂り、室温 23~25 °C に保たれた被検者宿泊施設に來所して宿泊した。夕食後は激しい運動を避けて、水以外の飲食はしないように指示し、午後 11 時に就寝させた。翌朝午前 7 時に起床させ、排便・排尿後、室温 23~25 °C の被検者室において、覚醒・仰臥安静状態で基礎体温、心拍数を計測した後、基礎代謝量を測定した。

基礎代謝量の測定は、ルドルフマスクを装着後 30 分以上仰臥させた後、仰臥位のまま、ダグラスバッグ法 (Douglas, 1911) により呼気を 10 分間採取した。呼気は直ちにガスメーター (品川製作所) にて換気量を測定するとともに、質量分析計 (アルコシステム社製) を用いて酸素及び二酸化炭素の濃度を分析した。これらのデータから標準状態に換算した酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を算出し、さらに得られた二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) と $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ (RQ) を基準とした Weir (1949) の換算式によりエネルギーに換算して基礎代謝量 (kcal/day) を算出した。なお、基礎代謝量のデータとしては RQ が 0.75 以上 0.99 以下の場合のみを採用した (柏崎 1997)。基礎代謝量は体重当たり (kcal/kgBW/day)、及び FFM 当たり (kcal/kgFFM/day) でも算出した。

2-4. 最大酸素摂取量の測定及び運動習慣の評価

トレッドミルによる歩行と走行を併用した漸増負荷法により、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を測定した。 $\dot{V}O_{2max}$ 測定の評価として RQ 1.0 以上でかつ最大心拍数が 220-年齢、及び RPE (主観的運動強度) が 17 (かなりきつい) 以上をもって最大と判断した。呼気の分析は基礎代謝量測定と同様の機器を用いて行った。 $\dot{V}O_{2max}$ は体重当たり、及び FFM 当たりでも算出した。

運動習慣の評価はアンケート調査から 1 週間当たりの活動時間で表した。活動内容

は主にウォーキング、水泳、エアロビクスで、強度はそれぞれ異なるが一律に評価した。

2-5. 統計処理

本実験で得られた各指標の統計処理は、Microsoft Excel 2000 (Microsoft Co., USA)、Stat View5.0 (SAS Institute Inc.) にて行った。群間の平均値の差の検定は、対応のない t-test を用いた。さらに基礎代謝量 (kcal/day) を目的変数、身長 (cm)・FFM (kg)・FM (kg)・年齢 (歳) を説明変数としてステップワイズ重回帰分析 (変数増加法) を行った。統計量の記載はすべて平均値 ± 標準偏差で示した。すべての統計処理について、危険率 5 %未満を有意とした。

3. 結果

本研究で対象とした被検者の身体的特徴及び呼吸循環器系機能 ($\dot{V}O_2\text{max}$)、基礎代謝量を **Table 1** に示した。なお、基礎体温は $36.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、仰臥安静時心拍数は 60 ± 7 bpm、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 時におけるRPEは 18.4 ± 1.0 、RQは 1.20 ± 0.14 、最大心拍数は 170 ± 11 bpm、運動習慣における運動時間は 216 ± 178 分/週であった。70 名の被検者に対し、基礎代謝量と体格 (体重)、身体組成 (FFM) の関連について検討したところ、体重あるいはFFMとの間に有意な正の相関関係が認められた (**Figure 1**)。

本研究において、全被検者を体脂肪率 35 %以上 (Higher % body fat group ; HF) と 35 %未満 (Lower % body fat group ; LF) の 2 群に分けて検討した。この 2 群間で、体重、BMI、体脂肪率、FM、体重当たりの $\dot{V}O_2\text{max}$ に有意な差が認められた (**Table 1**)。しかし、FFMには有意な差が認められなかった。また、運動時間にも有意な差は認められなかった (HF vs LF : 245 ± 211 vs 203 ± 163 分/週)。HF群とLF群の基礎代謝量

の結果から、体脂肪率の高い中高年女性は低い中高年女性に比べて、体重当たりの基礎代謝量は有意に低く、FFM当たりの基礎代謝量についてはむしろ高くなっていることが示された。

全被検者に対し、基礎代謝量 (kcal/day) を目的変数とし、身長 (cm)・FFM (kg)・FM (kg)・年齢 (歳) を説明変数として重回帰分析を行ったところ、寄与率が最大となる説明変数は FFM で、基礎代謝量の 35.7 % を説明することができた。次に FM を説明変数として加えることで、さらに 7.0 % が説明できることが示された。一方、他の説明変数である身長 (0.2 %)、年齢 (0.1 %) は基礎代謝量に対してほとんど寄与していないことが示された (Table 2)。

4. 考察

本研究で対象とした閉経後中高年女性被検者の体格は、第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－(1999) (以下「所要量」) において基準とされている同年代 (50~69 歳) の女性より身長はやや高いが、体重はほぼ同じ水準であった。アンケートによって、運動の種類は考慮しないで、運動習慣を時間で評価したところ 216 ± 178 分/週であり、「所要量」に記載されている生活活動強度で表すとほぼ (適度) に相当していた。

本研究では、中高年女性の身体組成を計測するにあたり、密度法から体脂肪率を換算した。成人用の換算式として一般的に用いられているのは、Brožek *et al.* の式と Siri の式であるが、これらの式は白人の成人男性の資料より作られており、また中高年女性への Brožek *et al.* の式の適用を検討している文献は極めて少ないため、本被検者に適用できるのか否かは必ずしも明らかではない。しかしながら、戸部ら (1997) や北川 (1998) は 60 歳以上の者に Brožek *et al.* の式を適用しても大きな問題は生じ

ないことを報告している。したがって、我々も中高年女性への Brožek *et al.* の式の適用を可能と判断し、使用することとした。

本被検者の平均基礎代謝量は、「所要量」において示されている同年齢層の基礎代謝基準値 (1,110 kcal/day、20.7 kcal/kgBW/day) よりやや高い水準であった (Table 1)。基礎代謝量は体格による影響が顕著に現れ、体重、あるいは FFM との間に有意な正の相関関係が認められた (Figure 1)。これらの結果は、いくつかの先行研究の結果と一致していた (Tataranni *et al.* 1995、Westerterp *et al.* 2001、田口ら 2001、西田ら 2001)。

中高年女性は若年成人女性に比べ、体脂肪率が高く FFM が低い傾向であることが報告されている (Van Pelt *et al.* 1997、Visser *et al.* 1995)。特に閉経後の中高年女性は性ホルモン状態の著しい変化とともに、運動不足によってエネルギー消費量が低下し、体脂肪率の増加を引き起こすと言われている (Fukagawa *et al.* 1990、Ravussin *et al.* 1988)。これらのことから、中高年女性の身体組成は若年成人女性と同じ BMI であっても、身体組成を構成する FM と FFM の割合に大きな違いがあることが考えられる。すなわち加齢、特に閉経に伴い FM が増加し、FFM が減少するものと考えられる。従って、中高年女性、特に閉経後の中高年女性を対象として基礎代謝量を評価するにあたっては、加齢に伴う FFM の減少と FM の増加を考慮しなければならない。

身体組成研究において、肥満基準は体脂肪率 30 %以上とされており、平均的な日本人女性では 60 歳代にて肥満状態に達すると言われている (北川 1998)。そこで、本研究の被検者を体脂肪率 30 %で 2 分してみると、30 %未満が 19 名、30 %以上が 51 名と全被検者に対し 73 %が肥満であることがわかる。しかし、我々は過体脂肪率の中高年女性に注目して考察するため、平均値 + 1/2 標準偏差である体脂肪率 35 %で 2 分し、35 %以上 (HF) と 35 %未満 (LF) の 2 群について比較検討した。この 2

群を身体的特徴から比較してみると、体重と体脂肪率に有意な差があるために、FM に有意差が認められた。しかし、FFM には統計的に有意な差は認められなかった。

基礎代謝量については、1 日当たり (kcal/day) で HF 群がやや高くなっていたが、統計的には有意な差が認められなかった。しかし、体重当たり (kcal/kgBW/day) でみると HF 群の方が LF 群より有意に低くなっていた。体重当たりの基礎代謝量で、HF 群が有意に低値を示したのは、1 日当たりの基礎代謝量には顕著な差がなかったが、体重に有意な差があったためである。逆に、FFM 当たり (kcal/kg FFM /day) でみると HF 群の方が LF 群よりも有意に高値を示した。この 2 群を比較すると、FFM には有意な差が認められなかったにもかかわらず、FFM 当たりの基礎代謝量に有意な差が認められたことは、基礎代謝量を決定する要因として FFM 以外の要因も寄与している可能性を示唆している。

Astrup *et al.* (1992) は閉経前の女性の基礎代謝量 (REE) に対する身体組成の影響を検討している。彼らの報告から閉経前の女性の基礎代謝量 (REE) に対しては、FFM の寄与が最も大きい、FM も寄与していることが示唆されている。また、Tataranni *et al.* (1995) は、基礎代謝量 (RMR) が個々の臓器の代謝率の和であり、主な決定因子は FFM で、基礎代謝量 (RMR) のほぼ 60~70 % を説明するが、FM も大いに寄与していることを報告している。さらに、Svendsen *et al.* (1993) は、閉経後中高年女性の基礎代謝量 (REE) と身体組成について検討している。彼らは LBM (≡ FFM) と FM を二重エネルギー X 線吸収法 (Dual energy X-ray absorptiometry ; DXA 法) で測定し、全身と体幹の LBM と FM を区分して評価することによって、基礎代謝量 (REE) の決定にもっとも重要な因子は LBM で、特に体幹の LBM が決定因子であり、次いで全身の FM が決定因子であると述べている。一方、Armellini *et al.* (2000) は肥満男性と閉経前・後の女性の基礎代謝量 (RMR) と身体組成の関係を検討するた

めに、FFM と FM を皮下部分と内臓部分に分けて測定した結果、男性と閉経後中高年女性に対しては、FFM よりもむしろ FM が基礎代謝量（RMR）の決定に最も重要な因子であり、FM のなかでも特に内臓 FM のみが因子であると報告している。これらの研究報告から、基礎代謝量を決定する要因として FFM 以外に FM が寄与している可能性が示唆される。

そこで、本研究においても基礎代謝量に対する FFM と FM の影響を検討するために、全被検者の基礎代謝量（kcal/day）（目的変数）に対し、身長（cm）・FFM（kg）・FM（kg）・年齢（歳）を説明変数としてステップワイズ重回帰分析（変数増加法）を行った。その結果、基礎代謝量（kcal/day）に対する寄与率が最大の説明変数は FFM で、35.7 %を説明し、次に FM を説明変数として加えることで、さらに 7.0 %が説明できることが示された（Table 2）。

本研究の結果やいくつかの先行研究の報告から考えてみても、基礎代謝量において最も重要な因子は FFM であるといえるが、FM も基礎代謝量の決定因子として一定の役割を担っているということが考えられる。

閉経後中高年女性の体重増加は、FM の増加、特に内臓 FM の増加によって引き起こされ、FFM はむしろ減少していると考えられている（Kotani *et al.* 1994）。Hunter *et al.*（2001）は、体幹の FFM は加齢に伴う身体組成の変化によっても比較的保持されるが、特に下肢の筋量が減少していると報告している。したがって、閉経後中高年女性の加齢に伴う基礎代謝量（kcal/day）の低下において最も重要な因子は FFM の低下であることは明らかである。しかし、加齢に伴う FM の増加が基礎代謝量を低下させているのではなく、むしろ体脂肪組織にも代謝活性があるので、閉経後中高年女性の基礎代謝量（kcal/day）を評価するにあたっては、FM がある程度基礎代謝量を保持するのに寄与していることも考慮しなければならないといえる。

また、基礎代謝量を評価するとき、性、年齢、身体組成を考慮すると同時に、交感神経系（sympathetic nervous system；SNS）の活動状態（Bray. 1991、Shihara *et al.* 1999）や熱産生機能を担う β_3 -アドレナリン受容体（ β_3 -AR）の遺伝子異常（Himms-Hagen *et al.* 1994、Scheidegger *et al.* 1984、Yoshida *et al.* 1995、井上 2002）、熱産生蛋白である脱共役蛋白質（Uncoupling Protein；UCP）のUCP1 遺伝子多型（高倉ら 2002）などにも目を向けなければならない。我々は本研究において遺伝と関連する諸指標を測定してはいないが、基礎代謝量のばらつきにはこれらの遺伝的因子が関与している可能性も考えられる。今後は、遺伝的因子やSNSの活動等も併せて考慮しながら、各個人の基礎代謝量を評価していかなければならないと考えられる。

5. まとめ

本研究は、70 名（年齢： 60.6 ± 4.2 （53-69）歳、BMI： 21.9 ± 2.1 kg/m²）の閉経後の中高年女性を対象として基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響を検討することを目的として実施した。

全被検者の基礎代謝量（ $1,148 \pm 126$ kcal/day、 21.9 ± 2.2 kcal/kgBW/day、 32.7 ± 3.2 kcal/kgFFM/day）と体重（ $r = 0.635$ 、 $p < 0.001$ ）あるいは LBM（ 35.3 ± 3.6 kg、 $r = 0.598$ 、 $p < 0.001$ ）との間に有意な正の相関関係が認められた。

全被検者を体脂肪率 35 %以上と 35 %未満の 2 群に分けて検討したところ、2 群間で、体重、BMI、体脂肪率、FM、体重当たりの $\dot{V}O_2\text{max}$ に有意差が認められた（それぞれ $p < 0.001$ ）。しかし、FFMには有意差が認められなかった。

また、この 2 群間で基礎代謝量を比較したところ、体脂肪率の高い中高年女性は低い中高年女性に比べて、体重当たりの基礎代謝量は有意に低く（ $p < 0.05$ ）、FFM 当りの基礎代謝量についてはむしろ高くなっていた（ $p < 0.05$ ）。

さらに、全被検者に対し、基礎代謝量 (kcal/day) を目的変数として重回帰分析を行ったところ、寄与率が最大となる説明変数は FFM (35.7 %) で、次に FM (7.0 %) であり、両者で 42.7 % が説明可能であった。

これらの結果から、閉経後中高年女性の基礎代謝量 (kcal/day) の最も重要な決定因子は FFM であるといえるが、加齢に伴って増加した FM も基礎代謝量の決定因子として一定の役割を担っていることが示唆された。

Table 1. Physical characteristics and basal metabolic rate of postmenopausal women

| | All subjects n = 70 | | LF n = 49 | | HF n = 21 | |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| Age (yrs) | 60.6 | ± 4.2 | 60.3 | ± 4.1 | 61.3 | ± 4.3 |
| Ht (cm) | 154.9 | ± 5.2 | 155.1 | ± 5.0 | 154.4 | ± 5.6 |
| BW (kg) | 52.7 | ± 6.2 | 51.0 | ± 5.3 | 56.6 | ± 6.4* |
| BMI (kg/m²) | 21.9 | ± 2.1 | 21.2 | ± 1.8 | 23.7 | ± 1.6* |
| % body fat (%) | 32.7 | ± 4.8 | 30.3 | ± 3.4 | 38.3 | ± 1.9* |
| FFM (kg) | 35.3 | ± 3.6 | 35.5 | ± 3.5 | 34.9 | ± 3.9 |
| FM (kg) | 17.3 | ± 3.9 | 15.5 | ± 2.7 | 21.7 | ± 2.8* |
| VO₂max (L/min) | 1.61 | ± 0.23 | 1.62 | ± 0.23 | 1.59 | ± 0.22 |
| (ml/kgBW/min) | 30.4 | ± 5.5 | 31.9 | ± 4.1 | 28.2 | ± 3.4* |
| BMR (kcal/day) | 1148 | ± 126 | 1133 | ± 125 | 1182 | ± 124 |
| (kcal/kgBW/day) | 21.9 | ± 2.2 | 22.3 | ± 2.3 | 21.0 | ± 1.8* |
| (kcal/kgFFM/day) | 32.7 | ± 3.2 | 32.1 | ± 3.1 | 34.0 | ± 3.1* |

Values are means ± SD, Ht: height, BW: body weight, BMI: body mass index, FFM: fat free mass, FM: fat mass, BMR: basal metabolic rate, LF: lower % body fat group, HF: higher % body fat group, * p < 0.001 vs. LF

Table 2. Major variables selected by stepwise multiple regression analysis on BMR

| BMR | | |
|------------------|------------------------|--------------------|
| | % explained | Added % |
| FFM (kg) | 35.7 | |
| FM (kg) | 42.7 | 7.0 |
| Ht (cm) | 42.9 | 0.2 |
| Age (yrs) | 43.0 | 0.1 |

BMR: basal metabolic rate, FFM: fat free mass, FM: fat mass, Ht: height

BMR (kcal/day) = 377 + 17.5 × FFM (kg) + 8.87 × FM (kg),

$R^2 = 0.427$, SEE = 96.6 kcal/day, $p < 0.001$

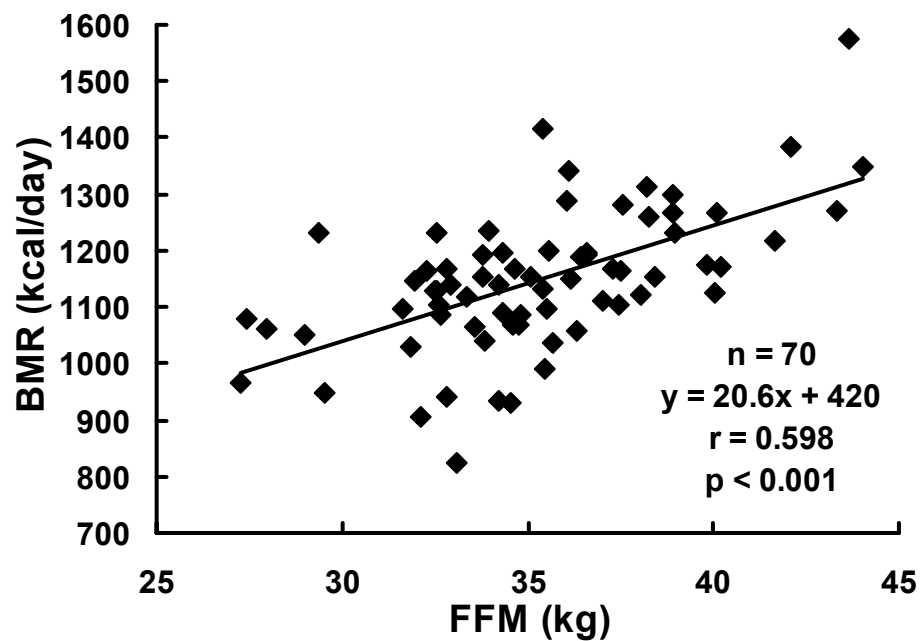
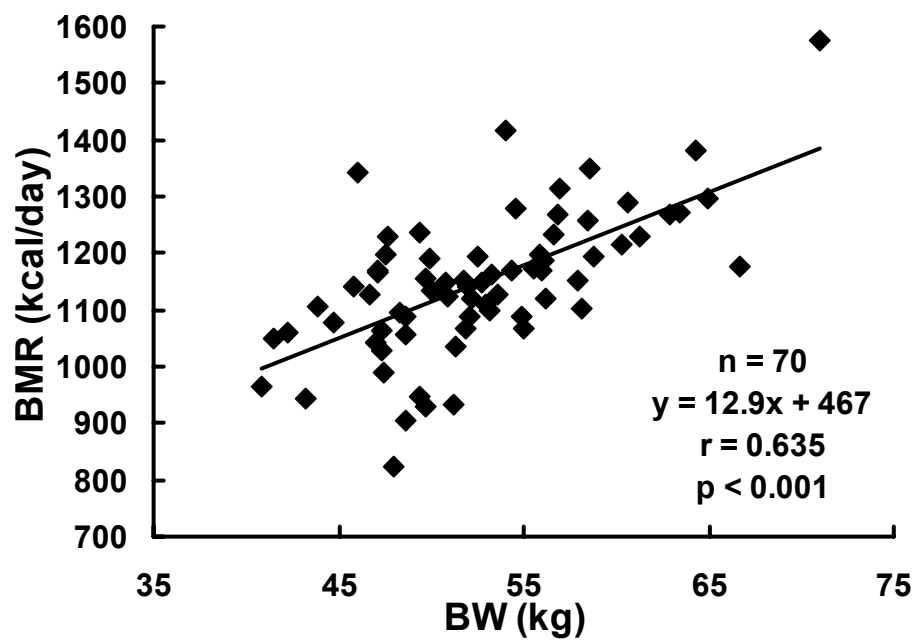


Figure 1. The relationship between BMR and BW / FFM in postmenopausal women

BMR: basal metabolic rate, BW: body weight, FFM: fat free mass

第 3 章 閉経後中高年女性と若年成人女性の基礎代謝量と身体組成

～呼吸循環器系機能レベル及び組織/器官レベルに注目した分析～

ABSTRACT

We decided to evaluate the possibility that measurement of the magnitude and distribution of fundamental somatic heat-producing units using dual energy X-ray absorptiometry (DXA) can be used to estimate resting energy expenditure (REE) in both young and elderly women with different aerobic fitness levels. Peak oxygen uptake ($\dot{V}O_2$ peak) and REEm were directly measured in 116 young (age: 22.3 ± 2.1 yrs) and 72 elderly (63.3 ± 6.4 yrs) women. The subjects were divided into four groups according to categories of age and $\dot{V}O_2$ peak; Young: High Fitness (YH, n = 58); Low Fitness (YL, n = 58); Elderly: High Fitness (EH, n = 37); Low Fitness (EL, n = 35). By using DXA, systemic and regional body compositions were measured, and REEe was estimated from the sum of tissue-organ weights multiplied by corresponding metabolic rate. Although there were remarkable differences in systemic and regional body compositions, no significant differences were observed between REEm and REEe in the four groups. REEe significantly correlated with REEm in elderly as well as young women; the slopes and intercepts of the two regression lines were statistically not different between the elderly and young groups (elderly: $y = 0.60x + 472$, $r = 0.667$, young: $y = 0.78x + 250$, $r = 0.798$, $p < 0.001$, respectively). A Bland-Altman analysis did not indicate bias in calculation of BMR for all subjects. These results suggest that REE can be estimated from tissue-organ components in women regardless of age and aerobic fitness.

Key words: resting energy expenditure, age, aerobic fitness, body composition, female adults

1. 緒言

基礎代謝量は1日のエネルギー消費量の60~80%を占め、エネルギー必要量を推定する際の基礎となる生理学的指標である。エネルギー代謝に関する研究領域の先行研究者たちにおける大きな関心事は、基礎代謝量の個人差を説明する諸因子を明らかにすることであった（Cunningham. 1980、1991、Nelson *et al.* 1992）。

具体的には、19世紀末から20世紀初期の研究により、体表面積や体重が基礎代謝量の個人差を説明する因子であると考えられていた（Benedict. 1915(a)、(b)、(c)、Rubner. 1883）。この基礎代謝量の個人差を説明する諸因子を探ることは、現在でも引き続き研究者の関心を集めており、20世紀末におけるいくつかの研究により、体重、特に除脂肪量（Fat free mass ; FFM）が基礎代謝量を推定するときに有効であることが示されている（Fukagawa *et al.* 1990、Ravussin *et al.* 1989、Tataranni *et al.* 1995）。

体重および脂肪（Fat mass ; FM）とFFMを含む身体組成の変化は、加齢や身体活動レベルの低下、食事、疾病のような様々な要因によって引き起こされる。特に女性においては、閉経が体脂肪量の増加を引き起こし、体重の増加につながることが知られている（Fukagawa *et al.* 1990、Guo *et al.* 1999、Svendsen *et al.* 1995）。Svendsen *et al.*（1995）は、閉経後女性が閉経前女性に比べて、内臓脂肪量を含むFMが有意に多く、骨格筋や骨、内臓諸器官を含むFFMが有意に低いことを報告している。

有酸素性能の高い個人が安静時において高い代謝率を持っているかどうかについての報告はごくわずかである。Ravussin *et al.*（1989）は、非糖尿病で定期的に運動していないピマ・インディアンの最大酸素摂取量（ml/kgFFM/min）と基礎代謝量（RMR : kcal/day）の間に関係はなかったと報告している。しかしながら、彼らは他の調査において、よくトレーニングしている被検者と体重、FFM、年齢がマッチしていて、かつトレーニングしていない被検者を比較したとき、基礎代謝量（RMR）はト

レーニングしている群で有意に高い値を示したことも報告している (Ravussin *et al.* 1989)。従って、有酸素性能力と基礎代謝量の間に関係があるかどうかという疑問は未だ解決されていない。

近年、身体組成測定の方法と技術がめざましい発展をとげ、その方法の1つである二重エネルギーX線吸収法 (Dual energy X-ray absorptiometry ; DXA 法) を使用して簡単に全身及び身体各部におけるそれぞれの FM、FFM、骨塩量 (Bone mineral content ; BMC) を測定することができるようになった。Hayes *et al.* (2002) は、DXA 法を用いて組織/器官の組成を算出し、算出されたおよその脳重量、骨格筋量 (Skeletal muscle mass ; SM)、脂肪組織量 (Adipose tissue ; AT)、骨量 (Bone mass ; BM)、その他組織/器官重量 (Residual mass ; RM) に代謝率を掛け合わせることによって、各個人の基礎代謝量 (REE) が推定できることを示している。このアプローチは、熱産生が行われている身体の構成要素の大きさと分布を明らかにする DXA 法によるモデルを利用することで、REE を推定する新しく実用的、教育的な方法を提供している。

従って、我々は、若年成人女性と閉経後中高年女性の基礎代謝実測値と DXA 法を使用して組織/器官の重量を測定し、それぞれの代謝率を掛け合わせるによって算出した基礎代謝推定値を比較検討することで、各組織/器官のエネルギー代謝率が加齢や有酸素性能力の影響を受けているのかどうかを明らかにするのではないかと考えた。

そこで、本研究では、有酸素性能力の異なる健康な若年成人女性及び閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量と DXA 法によって測定した身体組成との関連を検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被検者

本研究には、127名の若年成人女性（年齢：22.4 ± 2.2 歳）と 83 名の中高年女性（61.7 ± 8.1 歳）の被検者が参加した。そのうち、本研究を試行するにあたり、Body mass index（BMI：kg/m²）が 18.5 kg/m²未満の痩せ及び 30 kg/m²以上の肥満者、骨に関する治療や医薬品を摂取している者、ホルモン治療を受けている者は除外した。従って、本研究の対象被検者は、健康な 116 名の若年成人女性（年齢：22.3 ± 2.1 歳）と 72 名の中高年女性（年齢：63.3 ± 6.4 歳）となった。中高年女性は、閉経後 3 年以上経っており、平均閉経後経過年数が 13.5 ± 7.4 年であった。

被検者は、それぞれの年代における体重当たりの最高酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2peak}/BW$ ：ml/kgBW/min）の中央値によって高フィットネスレベル群および低フィットネスレベル群に分類され、中央値は若年者（20-29 歳）が 36.4 ml/kgBW/min、中高年者においてはそれぞれ、50 歳代が 27.1 ml/kgBW/min、60 歳代が 25.8 ml/kgBW/min、70 歳代が 21.0 ml/kgBW/minであった。したがって、若年者の高フィットネスレベル（Young high fitness level；YH）群、低フィットネスレベル（Young low fitness level；YL）群はともに各 58 名、中高年者の高フィットネスレベル（Elderly high fitness level；EH）群は 37 名、低フィットネスレベル（Elderly low fitness level；EL）群は 35 名となった。

月経周期や閉経年齢、その他の医科学的な質問をアンケートによって行った。

本研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神を遵守し、被検者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、文書により同意を得て諸検査を実施した。

2-2. 身体組成

身長は身長計 (YL-65、(株) ヤガミ) を用い、体重は電子体重計 (Inner Scan BC-600、(株) タニタ) を用いて基礎代謝量測定後に測定し、BMI を算出した。体脂肪率及び BMC、四肢の除脂肪軟組織 (lean soft tissue ; LST) は、DXA 法 (Dual energy X-ray absorptiometry : Hologic QDR-4500 DXA scanner、Hologic Inc.、Whaltham、MA、USA、ソフトウェア windows version 11.2 (OM-HL-406;08-0823 Rev.A)) を使用して測定した。また、得られた体重と体脂肪率から FFM と FM を算出した。

2-3. 基礎代謝量の測定

各被検者に対し、測定までの 12 時間の間、水以外の飲食はしないように指示し、また測定の前少なくとも 24 時間前からの激しい運動は禁止した。さらに、被検者には測定当日の朝に家から研究室までなるべく乗り物を用い、激しい活動を避け、最小限の行動で移動するように指示した。被検者は、室温 23~25 °C に保たれた実験室にてルドルフマスクを装着後、30 分以上の仰臥安静を経て、覚醒・仰臥安静状態で基礎体温及び心拍数を計測し、その後、基礎代謝量 (measured REE ; REEm) を測定した。

基礎代謝量の測定は、午前 7 時から 9 時の間に行い、仰臥位のまま、ダグラスバッグ法 (Douglas. 1911) により 10 分間の呼気を 5 分間のインターバルをおいて 2 回採取した。但し、若年者における基礎代謝量の測定は、卵胞期に行われるように日程を調整した。

呼気は、直ちにガスメーター (DC-5、品川製作所) にて換気量を測定するとともに、質量分析計 (ARCO-1000、アルコシステム社) を用いて酸素及び二酸化炭素の濃度を分析した。これらのデータから酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) と二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) を算出し、 $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ (RQ) を基準とした Weir (1949) の換算式によりエネルギーに換算

して基礎代謝量 (kcal/day) を算出した。なお、基礎代謝量のデータとしてはRQが 0.75 以上 0.99 以下の場合のみを採用した。基礎代謝量は体重当たり (kcal/kgBW/day)、及びFFM当たり (kcal/kgFFM/day) でも算出した。

2-4. 最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{peak}$) の測定

若年者においては、モナーク製自転車エルゴメーター (Monark model 828E) を用いた漸増負荷法により、最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{peak}$) を測定した。ペダルの回転数は 60 rpmとし、60 Wで 5 分間のウォーミングアップを行わせた後、1 分毎に、負荷を 15 Wずつ増加させ、疲労困憊まで至らしめた。

中高年者においては、トレッドミルによる歩行と走行を併用した漸増負荷法により、最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{peak}$) を測定した。分速 80 mで傾斜角度 0 度において 4 分間の歩行ウォーミングアップを行い、その後 3 分毎に速度を 10 m/minずつ上昇させ、120 m/minに達した後、3 分毎に上り傾斜角度を 3 度から 6 度まで 1.5 度ずつ漸増し、疲労困憊まで至らしめた。

呼気ガスは、若年者においては、1 分間のステージの後半 30 秒の呼気を採取し、中高年者においては、3 分間のステージの後半 1 分の呼気を採取した。呼気ガスの分析は、基礎代謝量の測定と同様に、直ちにガスメーターにて換気量を測定するとともに、質量分析計を用いて酸素及び二酸化炭素の濃度を分析し、酸素摂取量を算出した。試験中は、心電図を用いて心拍をモニタリングした。

$\dot{V}O_2\text{peak}$ 測定の評価として、1) $\dot{V}O_2$ のプラトー現象の発現、2) 最大心拍数が 190 以上または年齢から推定される最高心拍数 ($220 - \text{年齢}$) に達していること、3) RQ が 1.0 以上、及び 4) RPE (主観的運動強度) が 18 (かなりきつい) 以上の 4 つの条件のうち少なくとも 2 つの条件を満たしたものををもって最高と判断した (Johnson et

al. 2000、Santa-Clara *et al.* 2006)。

2-5. 組織/器官及び基礎代謝量の推定

先行研究をもとに以下のように4つに分類した組織/器官の重量を推定した。BM(骨量)は、Heymsfield *et al.* (1990) 及び Snyder *et al.* (1975) の報告により、BMC(骨塩量)に1.85を掛け合わせ、AT(脂肪組織量)は、DXA法より算出されたFMに1.18 (Heymsfield *et al.* 2002) を掛け合わせて算出した。SM(骨格筋量)は、Kim *et al.* (2002) のモデルにより、DXA法にて測定された四肢のLST(除脂肪軟組織)を用いて算出した。RM(その他組織/器官の重量)は、推定されたBM、AT、SMを体重から差し引いて算出した。

$$\text{BM (kg)} = \text{BMC (g)} \times 1.85 / 1000$$

$$\text{AT (kg)} = \text{FM (kg)} \times 1.18$$

$$\text{SM (kg)} = 1.13 \times \text{四肢の LST (kg)} - 0.02 \times \text{Age (yrs)} + 0.97$$

$$\text{RM (kg)} = \text{BW} - \text{SM} - \text{AT} - \text{BM}$$

基礎代謝量の推定 (estimated REE ; REEe) は、4つの組織/器官の重量に、先行研究で報告された代謝率を掛け合わせて算出した。代謝率の値は、それぞれ、骨が2.3 kcal/kg、脂肪組織が4.5 kcal/kg、骨格筋が13 kcal/kg、その他組織/器官が53 kcal/kgを用いた (Elia. 1992、Grande. 1989、Hayes *et al.* 2002、Heymsfield *et al.* 2002、Holliday *et al.* 1967)。

$$\text{REEe} = 2.3 \times \text{BM} + 4.5 \times \text{AT} + 13 \times \text{SM} + 53 \times \text{RM}$$

2-6. 統計処理

本実験で得られた全てのデータは平均値 ± 標準偏差で示した。また、各指標の統

計処理は、Sigma Stat Ver. 2.03 (SPSS Inc.) にて行った。全ての分析において、母集団が正規分布および等分散であるか否かの検定を行ってから統計処理を行った。

4 群間の差の検定においては、年齢と有酸素性能力の 2 つの因子による二元配置の分散分析をし、交互作用がある場合は、多重比較にテューキーの方法 (Tukey-test) を用いた。測定した基礎代謝量 (REEm) と推定した基礎代謝量 (REEe) の関係においては、Bland-Altman plots 法 (Bland and Altman, 1986) を用いて分析した。すべての統計処理について、危険率 5 %未満を有意水準とした。

3. 結果

3-1. 身体的特徴と有酸素性能力 (フィットネスレベル)

本研究で対象とした被検者の特徴と有酸素性能力を **Table 1** に示した。身長は、若年の高フィットネスレベル (Young high fitness level ; YH) 群が低フィットネスレベル (Young low fitness level ; YL) 群及び中高年の高フィットネスレベル (Elderly high fitness level ; EH) 群に比べて有意に高く、また、YL群が中高年の低フィットネスレベル (Elderly low fitness level ; EL) 群に比べて有意に高かった。体重及びFFMにおいては、YH群がYL群及びEH群に比べ有意に重く、特にFFMにおいてはYH群以外の他の群で同様な値であった。EL群は他の 3 群に比べて、体脂肪率において高い傾向があり (age : $p < 0.001$ 、aerobic fitness level : $p < 0.001$ 、interaction : $p = 0.056$)、 $\dot{V}O_2\text{peak}$ において有意に低かった。しかし、BMI及びFMにおいて 4 群間で有意な差はなかった。

3-2. 基礎代謝量の実測値と推定値

基礎代謝量の実測値 (REEm: kcal/day) は、YH 群において他の 3 群に比べて、~15 % 高い値を示した (**Table 2**)。

推定式を用いて算出した各組織/器官の組成、すなわち BM、AT、SM、RM の重量 (A) と体重に対する割合 (B) を **Figure 1** に示した。YH 群の SM 及び BM の重量において、YL 群よりも有意に高く、また同じフィットネスのカテゴリーにおいて、若年者が中高年者に比べて有意に高い値を示した。RM の重量においては YH 群が YL 群及び EH 群に比べ有意に高い値を示した。しかし、AT において 4 群間に交互作用は認められなかった。これら 4 つの組織/器官の重量を体重に対する割合で評価すると、SM において、YH 群が YL 群よりも高く、同じフィットネスのカテゴリーにおいては若年者のほうが中高年者よりも高かった。AT は、重量において有意な差が見られなかったが、体重に対する割合にすると、交互作用はなかったが EL 群が他の群よりもより高い傾向があった。

一方、**Figure 2** に先行研究で報告された各組織/器官の代謝率を用いて推定した代謝量を絶対値 (A) と基礎代謝量に対する割合 (B) で示した。代謝量の基礎代謝量に対する割合において、SM にだけ有意な差があり、YH が YL よりも高く、同じフィットネスのカテゴリーにおいては若年者よりも中高年者において有意な差が認められた。また、BM、AT、RM のエネルギー代謝量の割合において、4 群間に有意な差は認められなかった。

推定された基礎代謝量 (REEe : kcal/day) には、有意な交互作用が認められ、YH 群が YL 群及び EH 群に比べて有意に高い値を示した (**Table 2**)。また、REEm と REEe の間には、4 群とも有意な差が認められなかった。さらに、REEm と REEe の相関関係において、若年者及び中高年者それぞれで強い正の関係が認められた (Young : $y = 0.78x + 250$, $r = 0.798$, Elderly : $y = 0.60x + 472$, $r = 0.667$ 、それぞれ $p < 0.001$)。この若年者と中高年者の回帰直線において、傾きと切片に有意な差が認められなかった (傾き : $t = 1.652$ 、切片 : $t = 1.881$ 、どちらも NS) ので、**Figure 3** においては、

全ての被検者における REEm と REEe の回帰直線を示した。この基礎代謝量推定の精度の検定を Bland-Altman の方法を用いて検討したところ、どんなバイアスも見られなかった (Figure 4)。

4. 考察

本研究の主な知見は、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の成人女性において、年齢や有酸素性能力の違いに関係なく、DXA法で測定した 4 つの組織/器官 (脂肪組織、骨、骨格筋、その他組織/器官) の重量が適切に見積られれば、基礎代謝量 (kcal/day) を高い精度で推定することができるということである。

4-1. 身体的特徴と有酸素性能力 (フィットネスレベル)

本研究の被検者における有酸素性能力の評価の方法は、若年者と中高年者において違う方法を用いた。一般的に、自転車エルゴメーターを用いた漸増負荷の方法のほうが、トレッドミルを用いた方法よりも最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) の値が低くなることが知られている。先行研究の報告によると、一般成人において、トレッドミルで得られた最大酸素摂取量を 100 % とすると、自転車エルゴメーターでは 92~97 % である (Bouchard *et al.* 1979、Miles *et al.* 1980、Newton. 1963)。本研究の対象とした中高年女性は、1 年に 1 回実施している体力測定に数回参加している者がほとんどで、トレッドミルによる漸増負荷試験の実施経験が豊富なため、機器への慣れを考慮して、トレッドミルを用いた $\dot{V}O_2\text{peak}$ の測定を実施した。自転車エルゴメーターを用いた方法よりもトレッドミルを用いた方法のほうが $\dot{V}O_2\text{peak}$ を高く見積もるといっても、本研究の被検者において有酸素性能力 ($\dot{V}O_2\text{peak}/\text{BW}$) によって 4 群に分けたときに、若年者よりも中高年者のほうが有意に低い値を示したので、有酸素性能力の評価にお

いて方法の違いによる調整を行わなかった。

本研究において、 $\dot{V}O_2\text{peak}/\text{BW}$ は、高フィットネスレベル群においても低フィットネスレベル群においても若年者に比べて中高年者において、加齢により 30 %の低下が認められた。言い換えると、 $\dot{V}O_2\text{peak}/\text{BW}$ は、10 年ごとに~7.5 %低下していた。先行研究では、20-75 歳の被検者の有酸素性能力 ($\dot{V}O_2\text{max}/\text{BW}$) は、10 年間で 7.5 %低下することを示している (Pollock *et al.* 1987)。また、Heath *et al.* (1981) は、563 名の健康な被検者を含む 9 つの研究をメタ解析し、 $\dot{V}O_2\text{max}$ が 10 年間で~9 %低下していることを報告している。

本研究の被検者においては、BMIが 18.5 kg/m^2 未満及び 30 kg/m^2 以上の者を除いたので、WHOが発表した肥満度 (WHO 1997、2004) に照らし合わせれば、普通から過体重の者を対象としている。被検者の身体的特徴において注目すべきところは、高フィットネス群または若年者においては、低フィットネス群または中高年者と比較して体脂肪率が低く、FFMについてはYH群が他の 3 群よりも有意に高かったが、YL、EH、ELのFFMにおいて 3 群間に有意な差がなかったことである (Table 1)。これらの結果は先行研究 (Van Pelt *et al.* 1997、2001) と一致しており、中高年者において高い有酸素性能力を維持することで、加齢による体脂肪率の増加を抑制する可能性が示唆された。

また、本研究において身体組成が基礎代謝量に及ぼす影響を詳細に分析するために、先行研究で報告された組織/器官の重量の推定式と代謝率を用い、身体を構成する 4 つの各組織/器官の相違に注目した。Figure 1B に示されるように、体重に対する AT の割合の結果から、加齢によって体脂肪率が増加するが、高い有酸素性能力を保持すると、体脂肪率の増加を抑制する傾向がみられる。一方、SM は有酸素性能力に関係なく、加齢によって低下することが示された (Figure 1、A、B)。これらの結果は、

50 歳代以上の中高年女性においてスイミングやウォーキング、ジョギングのような有酸素性運動を行い、高い有酸素性能力を保持するだけでは、骨格筋量の加齢による低下を抑制させることは難しいことが示唆される。

4-2. 基礎代謝量の実測値と推定値

本研究において、基礎代謝量は DXA 法を用いて推定した 4 つの各組織/器官の重量に先行研究で報告された代謝率を掛け合わせて見積もった (**Table 2**)。REEm と REEe に強い正の相関関係が認められたこと ($r = 0.771$ 、 $p < 0.001$ 、**Figure 3**) や Bland-Altman の分析においてどんなバイアスも見られなかったこと (All subjects: $r = 0.140$ 、Young: $r = 0.041$ 、Elderly: $r = 0.133$ 、いずれも NS、**Figure 4**) が示された。さらに、REEm と REEe の相関関係において、若年者及び中高年者それぞれで強い正の相関関係が認められた (Young: $y = 0.78x + 250$ 、 $r = 0.798$ 、Elderly: $y = 0.60x + 472$ 、 $r = 0.667$ 、それぞれ $p < 0.001$) が、この若年者と中高年者の回帰直線において、傾きと切片に有意な差が認められなかった (傾き: $t = 1.652$ 、切片: $t = 1.881$ 、いずれも NS)。これらの結果は、加齢による代謝率の低下よりもむしろ、FFM に対する骨格筋とその他組織/器官の重量の割合の違いが、基礎代謝量を推定する際に重要である可能性を示唆している。

女性において閉経を迎えると、身体組成の変化により基礎代謝量が低下することがよく知られている (Hunter *et al.* 2001、Vaughan *et al.* 1991)。しかし、その基礎代謝量の低下は、骨格筋や骨、その他組織/器官を含む FFM の加齢による低下によって引き起こされるかどうかは明らかとはなっていない。本研究における基礎代謝量の実測値は、絶対値 (kcal/day) において YH 群に比べ YL、EH、EL 群において約 15 %低い値を示した (**Table 2**)。しかしながら、この基礎代謝量 (kcal/day) の相違は、FFM

当たりの基礎代謝量では認められなかった (YH vs YL vs EH vs EL : 28.4 ± 2.3 vs 28.4 ± 2.3 vs 28.8 ± 2.7 vs 29.0 ± 2.1 kcal/kgFFM/day)。この結果は、健康で座位的な生活を送っている成人男女から得た先行研究の結果とは一致していなかった (Piers *et al.* 1998、Van Pelt *et al.* 1997、2001)。Piers *et al.* (1998) や Van Pelt *et al.* (1997、2001) は、健康な一般人 (男/女) において身体組成で補正された基礎代謝量 (REE) が加齢によって低下すると報告している。

Gallagher *et al.* (1998、2000) は、基礎代謝量 (REE) といくつかの組織や器官に分けられた FFM との関係进行调查するという試みを行った。その調査とは、測定した基礎代謝量 (REE) と異なる重量と代謝率を持つ組織/器官を算出し、Elia (1992) の報告した代謝率を掛け合わせて見積もった基礎代謝量 (REE) とを比較することであった。さらに、Hayes *et al.* (2002) は、DXA 法を用いて算出した組織/器官の重量に代謝率を掛け合わせたものから基礎代謝量 (REE) が推定できるのかどうかを検討した。この研究の結果として、測定した基礎代謝量 (REE) と推定した基礎代謝量 (REE) にどんなバイアスも見られなかったことを報告している (Hayes *et al.* 2002)。

一方、本研究の限界として、各組織/器官の重量は DXA 法による推定値であり、実際にコンピュータ断層撮影 (Computed tomography ; CT) や磁気共鳴イメージ画像 (Magnetic resonance imaging ; MRI) などの機器を用いて正確に測定していないことがあげられる。また、各組織/器官の代謝量も陽電子放射型断層撮影 (Positron emission tomography ; PET) などの機器を用いて直接測定したものではないこともあげられる。さらに、本研究の対象は、20 歳代及び閉経後 3 年以上経過した 50 歳以上の被検者であり、30~40 歳代 (30-49 歳) の被検者のデータが欠如している点は弱点である。今後の研究課題として、痩せている人や肥満者を対象とするとともに、対象

者の年代の幅を広げて検討することが必要である。

本研究の結論として、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の女性において、年齢や有酸素性能力の違いに関係なく、DXA法で測定した4つの組織/器官の重量が適切に見積られれば、基礎代謝量を高い精度で推定することができる。このことは、加齢や有酸素性能力の低下による基礎代謝量の低下は、各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりも、むしろ各組織/器官の重量の変化が大きく影響を及ぼしている可能性を示唆している。

5. まとめ

本研究は、有酸素性能力の異なる健康な116名の若年女性（年齢： 22.3 ± 2.1 歳、BMI： $21.3 \pm 1.9 \text{ kg/m}^2$ ）と72名の中高年女性（年齢： 63.3 ± 6.4 歳、BMI： $22.9 \pm 2.3 \text{ kg/m}^2$ ）を対象として、基礎代謝量とDXA法によって測定した身体組成との関連を検討することを目的として実施した。

体重に対する脂肪組織の割合の結果から、加齢によって体脂肪率が増加する傾向にあるが、高い有酸素性能力を保持すると、体脂肪率の増加を抑制する可能性が示唆された。一方、骨格筋量は有酸素性能力に関係なく、加齢によって低下することが示された。これらの結果は、50歳代以上の中高年女性においてスイミングやウォーキング、ジョギングのような有酸素性運動を行い、高い有酸素性能力を保持するだけでは、骨格筋量の加齢による低下を抑制させることは難しいことが示唆された。

REEm（実測値）と REEe（推定値）に強い正の相関関係が認められ（ $r = 0.771$ 、 $p < 0.001$ ）、Bland-Altman の分析においてもどんなバイアスも見られなかった（ $r = 0.140$ 、NS）。さらに、REEm と REEe の相関関係において、若年者と中高年者のそれぞれの

回帰直線において、傾きと切片に有意な差が認められなかった（Young : $y = 0.78x + 250$ 、 $r = 0.798$ 、Elderly : $y = 0.60x + 472$ 、 $r = 0.667$ 、それぞれ $p < 0.001$ 、傾き : $t = 1.652$ 、切片 : $t = 1.881$ 、いずれも NS）。この結果は、加齢による各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりもむしろ、FFM に対する骨格筋とその他組織/器官の重量の割合の違いが、基礎代謝量を推定する際に重要である可能性を示唆している。

これらの結果から、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の女性において、年齢や有酸素能力の違いに関係なく、DXA法で測定した4つの組織/器官の重量が適切に見積られれば、基礎代謝量を高い精度で推定できることが示唆された。また、加齢や有酸素能力の低下による基礎代謝量の低下は、各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりも、むしろ各組織/器官の重量の変化が大きく影響を及ぼしている可能性を示唆している。

Table 1. Subjects characteristics for the healthy female adults

| | Young | | Elderly | |
|------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | YH n = 58 | YL n = 58 | EH n = 37 | EL n = 35 |
| Age (yrs) | 21.8 ± 1.9 | 22.8 ± 2.2 | 62.4 ± 6.7 | 64.3 ± 6.1 |
| Ht (cm) | 163.2 ± 6.6 | 159.5 ± 6.3 ^a | 153.1 ± 5.4 ^b | 154.7 ± 5.0 ^b |
| BW (kg) | 57.1 ± 6.8 | 53.9 ± 5.9 ^a | 53.2 ± 6.0 ^b | 55.5 ± 5.9 |
| BMI (kg/m ²) | 21.4 ± 1.9 | 21.2 ± 1.9 | 22.7 ± 2.1 | 23.2 ± 2.5 |
| FFM (kg) | 44.7 ± 5.6 | 39.5 ± 4.0 ^a | 37.6 ± 3.7 ^b | 37.9 ± 3.3 |
| FM (kg) | 12.3 ± 2.6 | 14.3 ± 3.0 | 15.5 ± 3.6 | 17.7 ± 4.1 |
| % body fat (%) | 21.6 ± 3.6 | 26.5 ± 3.6 | 29.0 ± 4.5 | 31.5 ± 4.8 |
| VO ₂ peak (ml/kgBW/min) | 42.3 ± 4.8 | 32.1 ± 2.9 ^a | 29.8 ± 4.2 ^b | 22.2 ± 2.8 ^{a,b} |

Values are means ± SD, Ht: height, BW: body weight, BMI: body mass index, FFM: fat free mass, FM: fat mass, Significance was determined by two-way ANOVA, ^a p < 0.05 vs. high fitness group (same age group), ^b p < 0.05 vs. young group (same fitness category)

Table 2. Measured and estimated resting energy expenditure

| | Young | | Elderly | |
|--------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | YH n = 58 | YL n = 58 | EH n = 37 | EL n = 35 |
| REEm | 1265 ± 155 | 1118 ± 114^a | 1080 ± 125^b | 1093 ± 92 |
| REEe | 1246 ± 161 | 1108 ± 101^a | 1128 ± 108^b | 1128 ± 89 |
| REEm - REEe | 19 ± 105 | 9 ± 89 | -48 ± 92 | -35 ± 79 |

Values are means ± SD, kcal/day, REE: resting energy expenditure, REEm: measured by expiratory gas exchange, REEe: estimated by four tissue-organs, $REEe = 13 * SM + 2.3 * BM + 4.5 * AT + 54 * RM$, Significance was determined by two-way ANOVA, ^a p < 0.05 vs. high fitness group (same age group), ^b p < 0.05 vs. young group (same fitness category)

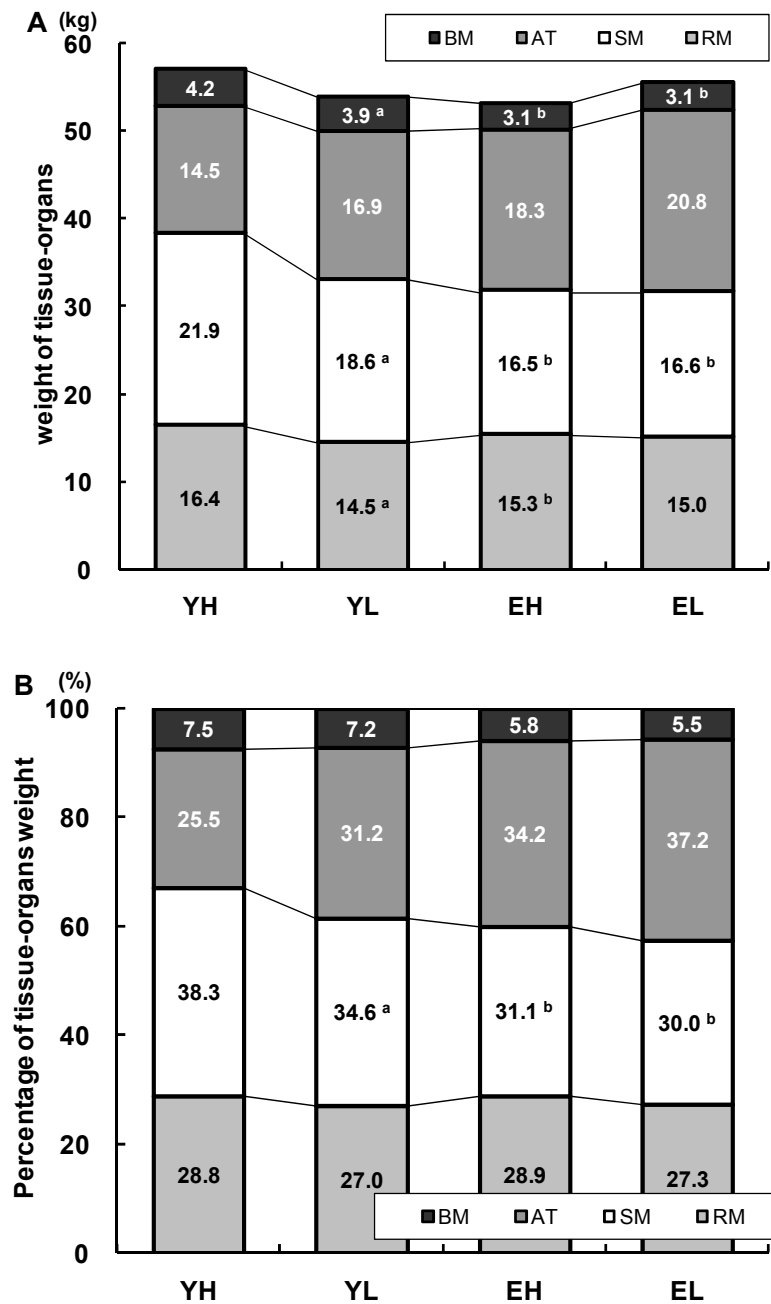


Figure 1. Four tissue-organ components in females expressed as a weight (A) and as their respective fractional contribution to body weight (B).

RM: residual mass, SM: skeletal muscle, AT: adipose tissue, BM: bone mass, Significance was determined by two-way ANOVA, ^a $p < 0.05$ vs. high fitness group (same age group), ^b $p < 0.05$ vs. young group (same fitness category)

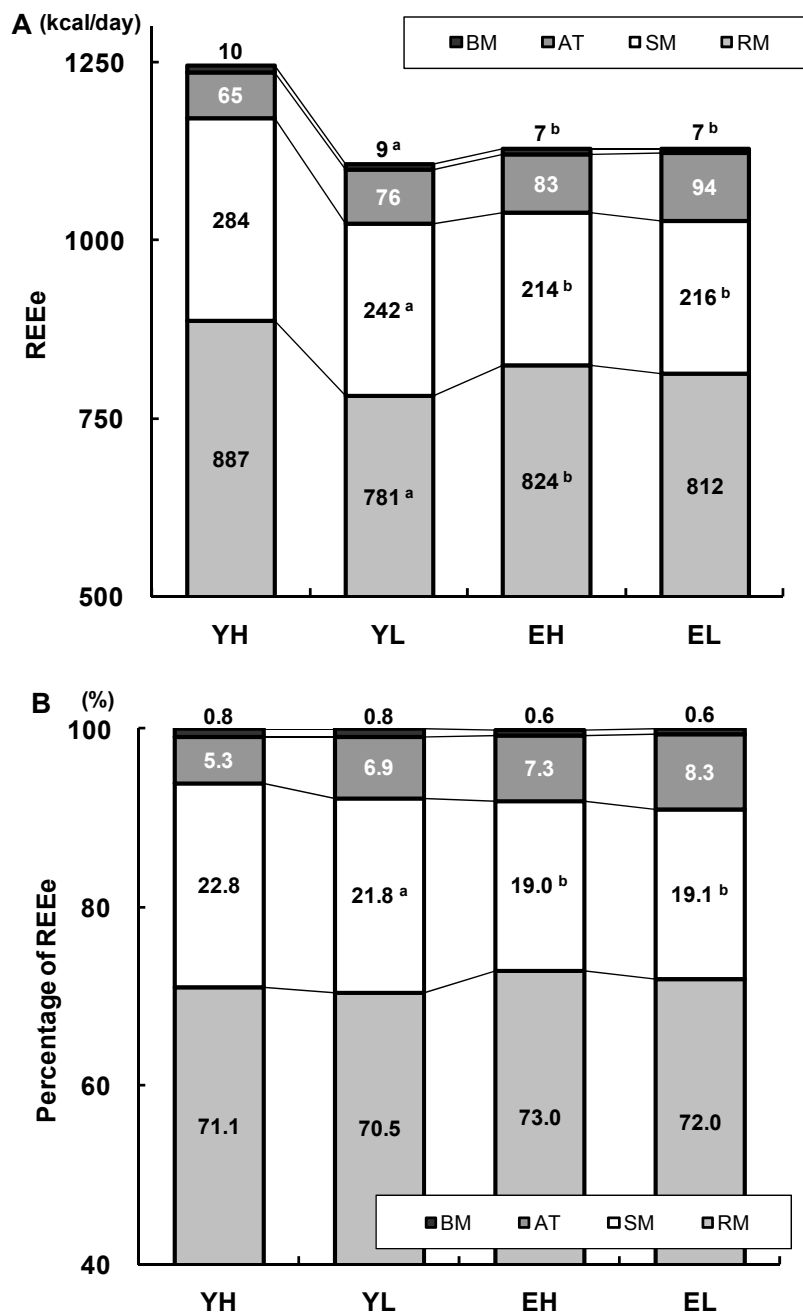


Figure 2. Four tissue-organ components in females expressed as a specific metabolic rate (A) and as their respective fractional contribution to REE (B).

REEe: estimated resting energy expenditure, RM: residual mass, SM: skeletal muscle, AT:

adipose tissue, BM: bone mass, Significance was determined by two-way ANOVA, ^a $p < 0.05$ vs.

high fitness group (same age group), ^b $p < 0.05$ vs. young group (same fitness category)

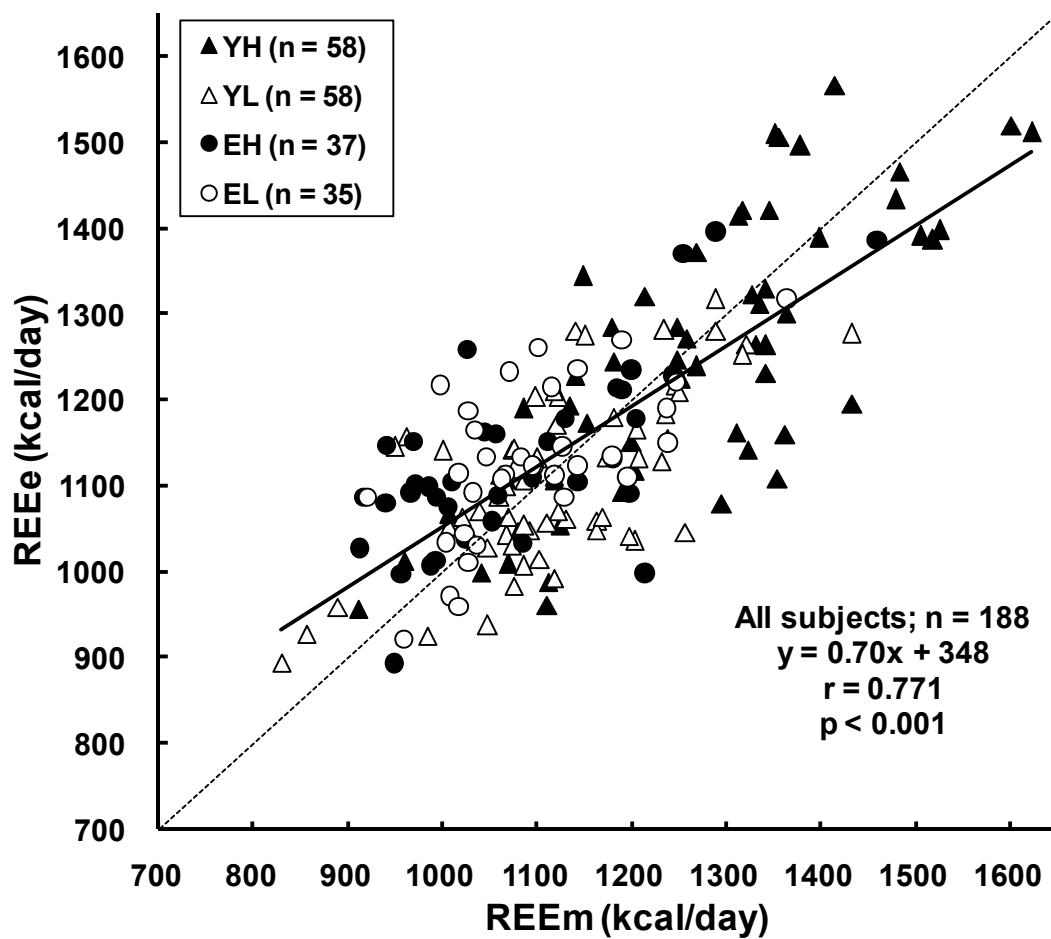


Figure 3. Relationship between the measured and estimated resting energy expenditure

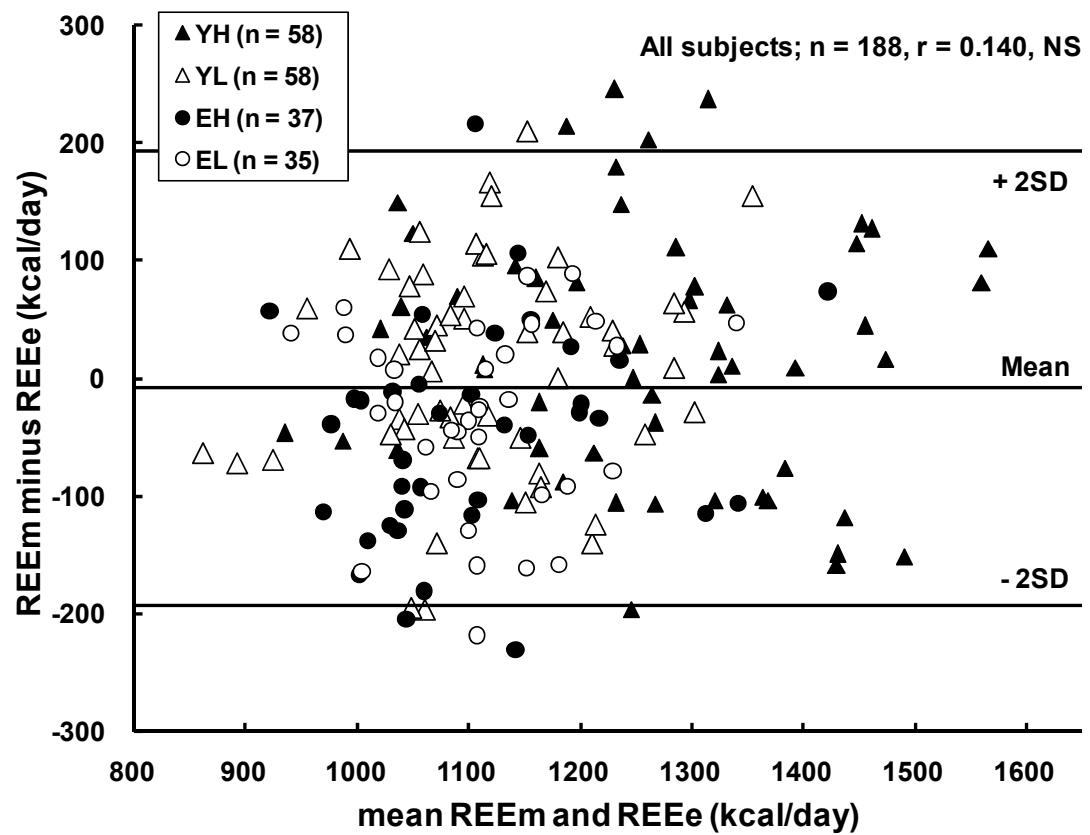


Figure 4. Bland-Altman analysis

The differences between measured REE and estimated REE are plotted.

第4章 閉経後中高年女性と若年成人女性の基礎代謝量と血液生化学諸指標

～血中のホルモン及びアディポサイトカインに注目した分析～

ABSTRACT

It has been demonstrated in a previous study that resting energy expenditure (REE) is associated with adiponectin levels in the blood. However, body composition was not taken into consideration in their study. The purpose of the present study was to again investigate the relationship between blood adipocytokines and REE, adjusted by body composition, in both young and elderly women. REE and blood adipocytokines were measured in 115 young (age: 22.3 ± 2.1 yrs, BMI: 21.3 ± 1.9 kg/m²) and 71 elderly (63.4 ± 6.5 yrs, 22.9 ± 2.3 kg/m²) women. Dual energy X-ray absorptiometry was used to measure percent body fat. Fat mass (FM) and fat free mass (FFM) were calculated. REE (kcal/day and kcal/kgBW/day) was lower in elderly women than in young women, but no significant difference was observed in REE, expressed as kcal/kgFFM/day, between the two groups. Although elderly women had a higher percent body fat and higher serum leptin concentrations than young women, plasma adiponectin concentrations did not differ between young and elderly women. In elderly women, REE (kcal/day) was significantly and inversely correlated with plasma adiponectin concentration ($r = -0.386$, $p < 0.001$), but REE expressed per kilogram of BW or FFM was not significantly correlated. Furthermore, no significant correlation was observed between REE (kcal/day) and concentrations of plasma adiponectin or serum leptin, after adjusting for potential confounders such as body composition and hormones, in either age group. These results suggest that

adipocytokines do not influence REE in adult women.

Key words: resting energy expenditure, E_2 , T_3 , adiponectin, leptin, age, female adults

1. 緒言

基礎代謝量は 1 日のエネルギー消費量の 60~80 %を占め、エネルギー必要量を推定する際の基礎となる生理学的指標であり、また、甲状腺機能の臨床診断にも使用されている。エネルギー代謝に関する研究領域の先行研究者たちにおける大きな関心事は、基礎代謝量の個人差を説明する諸因子を明らかにすることであった (Cunningham. 1980、1991、Nelson *et al.* 1992)。体重、特に除脂肪量 (Fat free mass ; FFM) が個人の基礎代謝量を推定するときに有効であることが明らかになっている (Fukagawa *et al.* 1990、Ravussin *et al.* 1989、Tataranni *et al.* 1995)。また、体脂肪量 (Fat mass ; FM) は低代謝率の組織であるといえども、中高年者を対象とするときには FM も基礎代謝量の個人差を説明する因子として重要であることをいくつかの研究は示唆している (Astrup *et al.* 1992、Svendsen *et al.* 1993、Tataranni *et al.* 1995、薄井ら 2003、2005)。さらに、成人女性においては、月経周期において E_2 が低い卵胞期の方が黄体期よりも基礎代謝量がより低いことが報告されている (Bisdee *et al.* 1989、Solomon *et al.* 1982)。

最近の先行研究において、脂肪組織を構成する脂肪細胞 (adipocyte : アディポサイト) は単なる脂肪蓄積細胞 (Fat-storing cell) ではなく、アディポサイトカインと総称されているさまざまなホルモン、サイトカイン、増殖因子、および他の生理活性物質を分泌しており (Maeda *et al.* 1997、Shimomura *et al.* 1996)、また、このアディポサイトカインが体温と基礎代謝量 (BMR) を維持するためのホメオスタシスシステムにおいて重要な役割を果たしている可能性があることが明らかになってきている (Yoda *et al.* 2001)。

レプチンやアディポネクチンに代表されるアディポサイトカインの産生調節異常 (分泌過剰と分泌不全) は、インスリン抵抗性や 2 型糖尿病、高脂血症、内皮障害、

動脈硬化症などの肥満に関連する疾患の発症に関係していると言われている (Havel, 2004)。特に、アディポネクチンは、1) インスリン感受性を増強し、インスリン抵抗性惹起因子である TNF- α の産生とその機能を抑制する、2) 血管内皮細胞において TNF- α 依存的に上昇する接着分子の発現、すなわちアテロームの産生を抑制し、抗動脈硬化因子として働くという重要な生理的役割を果たしていることが報告されている (Matsuzawa *et al.* 2004、前田 2006)。また、齧歯動物の研究においてエネルギー代謝がアディポネクチンによって調節されていることが報告されている (Horton *et al.* 1998、Kondo and Kondo. 1992、Swan and Schatte. 1976、Takamatsu *et al.* 1993、Yoda *et al.* 2001)。さらに、Ruige *et al.* (2005) は過体重者または肥満者において低い基礎代謝量 (RMR) が高いアディポネクチン濃度と強い負の関係があることを報告している。これらの先行研究は、基礎代謝とアディポネクチンが生理学的に関連している可能性を示唆している。

しかしながら、基礎代謝量とアディポネクチンの関係を調査した先行研究 (Ruige *et al.* 2005) においては、身体組成 (FM 及び FFM) が考慮されていない。したがって、身体組成の影響を補正したうえで、基礎代謝量に対するアディポネクチンの影響を評価することが必要である。

そこで本研究では、若年成人女性及び閉経後中高年女性を対象として、基礎代謝量と血中ホルモンとの関係、また身体組成によって補正された基礎代謝量と血中アディポサイトカインの関係を再評価することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被検者

対象とした被検者は、健康な 115 名の若年成人女性 (年齢 : 22.3 \pm 2.1 歳) と 71

名の中高年女性（年齢：63.4 ± 6.5 歳）である。中高年女性は、閉経後 3 年以上経過しており、平均閉経後経過年数が 13.5 ± 7.4 年であった。全ての被検者が骨に関する治療や医薬品摂取をしておらず、また、ホルモン治療も受けていなかった。本研究を試行するにあたり、Body mass index (BMI: kg/m²) が 18.5 kg/m² 未満の痩せ及び 30 kg/m² 以上の肥満者を除いた。被検者のうち、4 名の若年成人女性と 17 名の閉経後中高年女性が過体重であった（25 ≤ BMI < 30）。月経周期や閉経年齢、その他の医科学的な質問をアンケートによって行った。

また、本研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神を遵守し、被検者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、文書により同意を得て諸検査を実施した。

2-2. 身体組成

身長は身長計 (YL-65、(株) ヤガミ) を用い、体重は電子体重計 (Inner Scan BC-600、(株) タニタ) を用いて基礎代謝量測定後に測定し、BMI を算出した。体脂肪率は、二重エネルギー X 線吸収法 (Dual energy X-ray absorptiometry; DXA 法: Hologic QDR-4500 DXA scanner、Hologic Inc.、Waltham, MA, USA、ソフトウェア windows version 11.2 (OM-HL-406; 08-0823 Rev.A)) を使用して測定した。また、得られた体重と体脂肪率から FFM と FM を算出した。

2-3. 基礎代謝量の測定

各被検者に対し、測定までの 12 時間の間、水以外の飲食はしないように指示し、また測定の少なくとも 24 時間前からの激しい運動は禁止した。さらに、被検者には測定当日の朝に家から研究室までなるべく乗り物を用い、激しい活動を避け、最小限

の行動で移動するように指示した。被検者は、室温 23~25 °C に保たれた実験室にてルドルフマスクを装着後、30 分以上の仰臥安静を経て、覚醒・仰臥安静状態で基礎体温及び心拍数を計測し、その後、基礎代謝量を測定した。

基礎代謝量の測定は、午前 7 時から 9 時の間に行い、仰臥位のまま、ダグラスバッグ法 (Douglas, 1911) により 10 分間の呼気を 5 分間のインターバルをおいて 2 回採取した。但し、若年者における基礎代謝量の測定は、卵胞期に行われるように日程を調整した。

呼気は、直ちにガスメーター (DC-5、品川製作所) にて換気量を測定するとともに、質量分析計 (ARCO-1000、アルコシステム社) を用いて酸素及び二酸化炭素の濃度を分析した。これらのデータから酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) と二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) を算出し、 $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ (RQ) を基準とした Weir (1949) の換算式によりエネルギーに換算して基礎代謝量 (kcal/day) を算出した。なお、基礎代謝量のデータとしては RQ が 0.75 以上 0.99 以下の場合のみを採用した。基礎代謝量は体重当たり (kcal/kgBW/day)、及び FFM 当たり (kcal/kgFFM/day) でも算出した。

2-4. 血液検査

採血は早朝空腹時に実施し、血中ホルモンとしてエストラジオール (Estradiol; E_2)、甲状腺ホルモン (Total triiodothyronine; T_3) を、アディポサイトカインとしてレプチン及びアディポネクチンの濃度を測定した。血液分析は (株) SRL 及び三菱化学メディエンス (株) に委託して行った。

2-5. 統計処理

本実験で得られた全てのデータは平均値 \pm 標準偏差で示した。また、各指標の統

計処理は、Sigma Stat Ver. 2.03 (SPSS Inc.) にて行った。全ての分析において、母集団が正規分布および等分散であるか否かの検定を行ってから統計処理を行った。若年成人女性と閉経後中高年女性の平均値の差の検定は、母集団が正規分布の場合は対応のないt-test、正規分布でない場合はMann-Whitney Ranks Sum Testを用いた。また、基礎代謝量とアディポサイトカインの関係を検討するために、身体組成及び血中ホルモン (FM (kg)、FFM (kg)、 E_2 (pg/mL)、 T_3 (ng/dL)) の影響を除去した基礎代謝量とアディポサイトカインの間の偏相関係数を算出した。すべての統計処理について、危険率 5 %未満を有意水準とした。

3. 結果

本研究で対象とした被検者の特徴の結果を **Table 1** に示した。身長は、閉経後中高年女性が若年成人女性に比べて有意に低い、体重においては 2 群間に有意な相違は認められなかった。しかし、体脂肪率において閉経後中高年女性が若年成人女性よりも有意に高く、従って閉経後中高年女性は若年成人女性に比べて FM が多く、FFM が少なかった。

絶対値 (kcal/day) 及び体重当たり (kcal/kgBW/day) の基礎代謝量は、若年成人女性に比べて閉経後中高年女性において有意に低い値を示した (**Table 2**)。しかし、FFM 当たりの基礎代謝量 (kcal/kgFFM/day) においては、2 群間に有意な差は認められなかった。

血中ホルモンにおいて、女性ホルモンである E_2 は、若年成人女性の方が閉経後中高年者に比べて有意に高い値を示した。一方、甲状腺ホルモンである T_3 は、2 群間に有意な差は認められなかった。

血中アディポサイトカインにおいて、若年成人女性に比べて閉経後中高年女性でレ

プチンが有意に高い値を示したが、アディポネクチンは2群間に有意な差が見られなかった (**Table 2**)。若年成人女性において、基礎代謝量 (kcal/day、kcal/kgBW/day、kcal/kgFFM/day) とアディポネクチンの間に有意な関係は認められなかった (**Figure 1、a-1 – a-3**)。一方、閉経後中高年女性においては、基礎代謝量 (kcal/day) とアディポネクチンの間に有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.386$ 、 $p < 0.001$ 、**Figure 1、b-1**) が、体重当たり及びFFM当たりの基礎代謝量 (kcal/kgBW/day、kcal/kgFFM/day) とアディポネクチンとの間には有意な相関関係は認められなかった (**Figure 1、b-2、b-3**)。また、両群ともに体重当たりの基礎代謝量 (kcal/kgBW/day) とレプチンの間に有意な負の相関関係が認められた (Young: $r = -0.318$ 、Elderly: $r = -0.426$ 、それぞれ、 $p < 0.001$ 、**Figure 2、a-2、b-2**) が、FFM当たりの基礎代謝量 (kcal/kgFFM/day) とレプチンの間には有意な相関関係が認められなかった (**Figure 2、a-3、b-3**)。

基礎代謝量 (kcal/day) に対するFM (kg)、FFM (kg)、 E_2 (pg/mL)、 T_3 (ng/dL) の影響を除去するために偏相関をとり、基礎代謝量と血中アディポサイトカインの関係を検討したところ、基礎代謝量 (kcal/day) とレプチン及びアディポネクチンに有意な相関関係は認められなかった (**Table 3**)。

4. 考察

本研究の主な知見は、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の非肥満成人女性を対象としたとき、アディポネクチン及びレプチンの血中濃度は、身体組成 (FM及びFFM) 及び血中ホルモン (E_2 及び T_3) の影響を除くと、基礎代謝量 (kcal/day) に影響を及ぼさないことが示唆されたことである。

本研究の対象である中高年女性は、閉経後少なくとも3年以上経過している。本研

究における閉経後中高年女性は、若年成人女性に比べて体重に有意な差はないが、FMが多くてFFMが少なかった（**Table 1**）。女性において、性ステロイド・ホルモンが体脂肪分布に影響を及ぼしていることやエストロゲンの分泌が低下し閉経を迎えることで、FMが増加する傾向があることが報告されている（Svendsen *et al.* 1995、Wade and Gray, 1979）。これらのことから本研究の被検者においても、閉経による脂肪増加の可能性が示唆された。

基礎代謝量においては、絶対値（kcal/day）及び体重当たり（kcal/kgBW/day）でみても、若年成人女性に比べて閉経後中高年女性においては有意に低い値を示した（**Table 2**）。しかし、FFM当たりの基礎代謝量（kcal/kgFFM/day）についてみると、2群間に有意な差が認められなかったことから、FFM当たりのエネルギー代謝活性は加齢によってもほとんど低下していない可能性が示唆された。

E₂は、閉経後中高年女性に比べて若年成人女性で有意に高い値を示した（**Table 2**）。これは、閉経の影響により中高年女性において、女性ホルモンの分泌が低下したことが原因である。また、レプチンは、若年成人女性に比べて閉経後中高年女性で有意に高い値を示した（**Table 2**）。これは、若年成人女性に比べて、中高年女性におけるFMが有意に高かったことが影響していると思われる。しかし、T₃とアディポネクチンの血中濃度は年齢層が異なる2群間において有意な差が見られなかった。

基礎代謝量は元来、甲状腺機能の臨床診断に使用されていた生理学的指標である。また、閉経前の成人女性を対象とした先行研究では、月経周期においてE₂が低い卵胞期の方が黄体期よりも基礎代謝量がより低いことを報告している（Bisdee *et al.* 1989、Solomon *et al.* 1982）。本研究においてもFFM当たりの基礎代謝量（kcal/kgFFM/day）とT₃において有意な単相関関係が認められた（All subjects: $r = 0.456$ 、Young: $r = 0.493$ 、Elderly: $r = 0.385$ 、それぞれ $p < 0.001$ ）。また、若年成人女性においては、卵胞期に

測定が実施されたにもかかわらず、FFM当たりの基礎代謝量 (kcal/kgFFM/day) と E_2 において有意な単相関関係が認められた ($r = 0.222$, $p < 0.05$)。これらの結果は、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしていることを示唆している。

アディポネクチンは冬眠中の動物の血中タンパク質 (HP-27、HP-25、HP-20 及び p88 HRP) と相同していることが報告されている (Horton *et al.* 1998、Kondo and Kondo. 1992、Takamatsu *et al.* 1993)。Yoda *et al.* (2001) は、冬眠中のリスの脳皮質下からの抽出物がラットの体温と酸素消費を有意に減らすという先行研究 (Swan and Schatte. 1976) を踏まえて、ネズミを寒冷に曝露したところ、その環境変化に対応して血中アディポネクチン濃度が上昇したことを確認しており、アディポネクチンが体温と基礎代謝量 (BMR) を維持するためのホメオスタシスシステムにおいて重要な役割を果たしている可能性があるとして述べている。また、動物を用いた先行研究 (Yamauchi *et al.* 2002) では、アディポネクチンが AMP キナーゼを活性化して β -酸化 (遊離脂肪酸の分解) を増加させることが報告され、これは、アディポネクチンがエネルギー代謝の調節において中心的な役割を果たしている可能性を示唆している。

本研究の閉経後中高年女性において、基礎代謝量 (kcal/day) とアディポネクチンの間に有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.386$, $p < 0.001$, **Figure 1, b-1**)。この結果は、過体重者と肥満者を対象とした先行研究 (Ruige *et al.* 2005) の結果と一致している。これらの結果は、特に基礎代謝量 (RMR: kcal/day) の低い者にとって、肥満に関連したインスリン抵抗性などの障害に対するアディポネクチンによる保護作用が重要である可能性を示唆しているかもしれない。またこれは、アディポネクチンが基礎代謝量 (RMR) を予測する有力な一因子であるように思わせる。

しかし、我々の先行研究において、体脂肪量が増加する中高年者においてFFMとと

もにFMが基礎代謝量の予測因子として重要であることを報告している(薄井ら 2003、2005)。本研究においても、BMIが 25 kg/m^2 以上で 30 kg/m^2 未満の過体重に分類される中高年者が 17 名含まれており、本研究で観測された基礎代謝量 (kcal/day) とアディポネクチンの負の相関関係は見かけ上の関係かもしれないと考えた。また、本研究において、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節に重要な役割を果たしていることが確認された。そこで、基礎代謝量とアディポネクチンの正確な関係を評価するために、身体組成及び血中ホルモン (FM (kg)、FFM (kg)、 E_2 (pg/mL)、 T_3 (ng/dL)) の影響を除去し、基礎代謝量とアディポネクチンの間の偏相関係数を算出した。その結果、基礎代謝量とアディポネクチンの間には有意な相関関係が認められなかった (Table 3)。従って、これらの結果は、成人女性においてアディポネクチンが実際には基礎代謝量の調節に直接関与していないことを示唆している。

また、Jørgensen *et al.* (1998) は、レプチンが成人男性の基礎代謝量 (RMR) の決定因子であると報告している。しかしながら、彼らの研究においては、基礎代謝量 (RMR) が身体組成 (FM及びFFM) によって十分に補正されていない。本研究では、身体組成によって補正された基礎代謝量とレプチンとの間に有意な関係は認められなかった (Table 3)。この結果は、Neuhäuser-Berthold *et al.* (2000) の報告と一致しており、レプチンもアディポネクチンと同様に、基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしていない可能性を示唆している。

本研究の限界として、本研究の対象は、20 歳代及び閉経後 3 年以上経過した 50 歳以上の被検者であり、30~40 歳代 (30-49 歳) の被検者のデータが欠如していることがあげられる。また、男性を対象としていないことも弱点である。さらに、アディポネクチンやレプチンのようなアディポサイトカインは脂肪組織と関係があるが、本研

究において痩せている人や肥満者を対象としていない。今後の研究課題として、痩せている人や肥満者を対象とするとともに、対象者の年代の幅を広げて検討することが必要である。

本研究によって、肥満でない健康な成人女性におけるアディポネクチン及びレプチンのようなアディポサイトカインは、基礎代謝量に直接的な影響を及ぼしていないことが示唆された。また、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしていることが確認された。

5. まとめ

本研究は、健康な 115 名の若年成人女性（年齢： 22.3 ± 2.1 歳、BMI： $21.3 \pm 1.9 \text{ kg/m}^2$ ）と 71 名の閉経後中高年女性（年齢： 63.4 ± 6.5 歳、BMI： $22.9 \pm 2.3 \text{ kg/m}^2$ ）を対象として、基礎代謝量と血中のホルモン及びアディポサイトカインとの関係を検討することを目的として実施した。

基礎代謝量において、絶対値（kcal/day）及び体重当たり（kcal/kgBW/day）でみても、若年成人女性に比べて閉経後中高年者において有意に低い値を示した。しかし、FFM 当たりの基礎代謝量（kcal/kgFFM/day）においては、2 群間に有意な差が認められなかったことから、FFM 当たりのエネルギー代謝活性は加齢によっても低下していない可能性が示唆された。

本研究において FFM 当たりの基礎代謝量と T_3 の間に有意な単相関関係が認められた（All subjects : $r = 0.456$ 、 $p < 0.001$ ）。また、若年成人女性においては、FFM 当たりの基礎代謝量と E_2 の間に有意な単相関関係が認められた（ $r = 0.222$ 、 $p < 0.05$ ）。これらの結果は、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たし

ていることを示唆している。

本研究の閉経後中高年女性において、基礎代謝量 (kcal/day) とアディポネクチンの間に有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.386$, $p < 0.001$)。しかし、基礎代謝量の予測因子として重要である身体組成が考慮されていないので、この負の相関関係は見かけ上の関係ではないかと考えた。

そこで、基礎代謝量とアディポネクチンの正確な関係を評価するために、我々は身体組成及び血中ホルモン (FM (kg)、FFM (kg)、 E_2 (pg/mL)、 T_3 (ng/dL)) の影響を除去し、基礎代謝量とアディポサイトカインの間の偏相関係数を算出した。その結果、基礎代謝量とアディポネクチンまたはレプチンの間に有意な相関関係が認められなかった。

これらの結果から、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の非肥満成人女性において、アディポネクチン及びレプチンは、基礎代謝量 (kcal/day) に直接的に影響を及ぼさないことが示唆された。また、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしていることが確認された。

Table 1. Physical characteristics in young and elderly women

| | Young (n = 115) | | | Elderly (n = 71) | | |
|--------------------------|----------------------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| Age (yrs) | 22.3 | ± 2.1 | (19.1 - 29.5) | 63.4 | ± 6.5 [†] | (50.2 - 77.0) |
| Ht (cm) | 161.3 | ± 6.7 | (142.2 - 181.0) | 153.8 | ± 5.2* | (141.3 - 164.7) |
| BW (kg) | 55.4 | ± 6.5 | (41.7 - 73.7) | 54.2 | ± 6.0 | (41.4 - 72.2) |
| BMI (kg/m ²) | 21.3 | ± 1.9 | (18.5 - 26.6) | 22.9 | ± 2.3* | (19.4 - 28.9) |
| % body fat (%) | 24.0 | ± 4.4 | (14.3 - 35.7) | 30.2 | ± 4.8* | (18.6 - 38.9) |
| FM (kg) | 13.3 | ± 3.0 | (7.5 - 24.8) | 16.5 | ± 4.0* | (8.2 - 26.7) |
| FFM (kg) | 42.1 | ± 5.5 | (31.4 - 57.5) | 37.7 | ± 3.5 [†] | (28.2 - 38.9) |

Values are means ± SD (range; minimum – maximum), Ht: height, BW: body weight, BMI: body mass index, FM: fat mass, FFM: fat free mass, * p < 0.001 vs. young group (Student's t-test), [†] p < 0.001 vs. young group (Mann-Whitney ranks sum test)

Table 2. Resting energy expenditure, hormones and adipocytokines in young and elderly women.

| | Young (n = 115) | | | Elderly (n = 71) | | |
|------------------------|----------------------|-------|-----------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| REE (kcal/day) | 1190 | ± 154 | (830 - 1622) | 1085 | ± 109 [†] | (913 - 1459) |
| (kcal/kgBW/day) | 21.5 | ± 1.9 | (17.8 - 27.5) | 20.1 | ± 1.9* | (16.2 - 25.1) |
| (kcal/kgFFM/day) | 28.4 | ± 2.3 | (24.0 - 33.7) | 28.9 | ± 2.4 | (23.5 - 35.7) |
| E ₂ (pg/mL) | 75 | ± 60 | (10 - 295) | 11 | ± 3 [†] | (10 - 29) |
| T ₃ (ng/dL) | 108 | ± 16 | (61 - 150) | 112 | ± 18 | (80 - 160) |
| Adiponectin (µg/mL) | 9.9 | ± 3.8 | (2.9 - 22.1) | 9.9 | ± 4.1 | (2.6 - 20.8) |
| Leptin (ng/mL) | 6.1 | ± 3.1 | (1.1 - 19.8) | 7.8 | ± 4.4 ^{††} | (1.5 - 25.7) |

Values are means ± SD (range; minimum – maximum), REE: resting energy expenditure, E₂: estradiol, T₃: total triiodothyronine, * p < 0.001 vs. young group (Student's t-test), [†] p < 0.001 and ^{††} p < 0.05 vs. young group (Mann-Whitney ranks sum test)

Table 3. Partial correlation coefficient to REE in female subjects

| Variable | Young (n = 115) | | Elderly (n = 71) | |
|----------------------------------|----------------------|-------|-----------------------|-------|
| | β | P | β | P |
| REE (kcal/day) | | | | |
| Adiponectin ($\mu\text{g/mL}$) | 0.138 | 0.148 | -0.200 | 0.104 |
| Leptin (ng/mL) | -0.006 | 0.947 | 0.067 | 0.588 |

β : partial correlation coefficient: controlling for age (yrs), FM (kg),
FFM(kg), E_2 (pg/mL), T_3 (ng/dL)

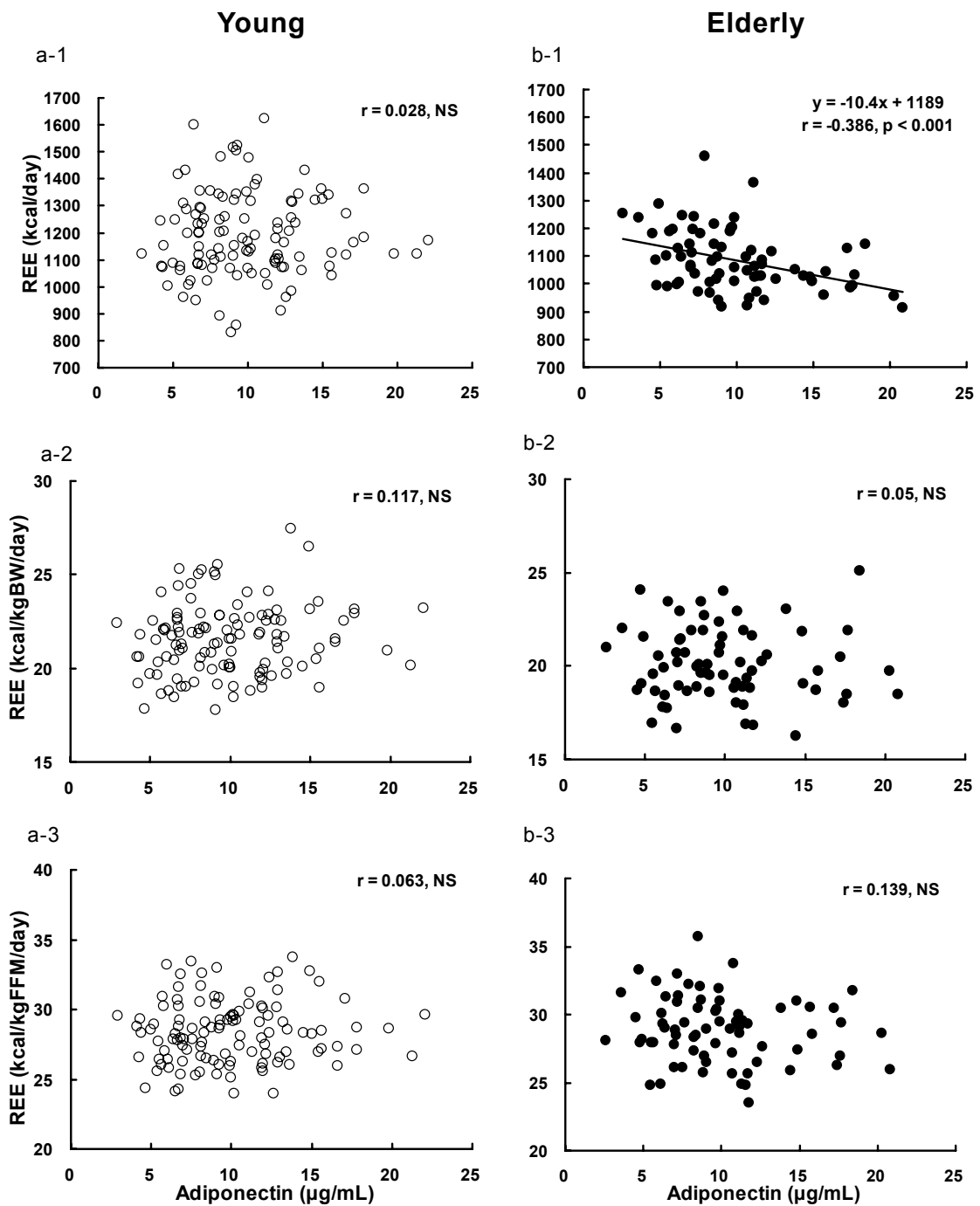


Figure 1. Relationship between REE (kcal/day, kcal/kgBW/day, kcal/kgFFM/day) and adiponectin ($\mu\text{g/mL}$)

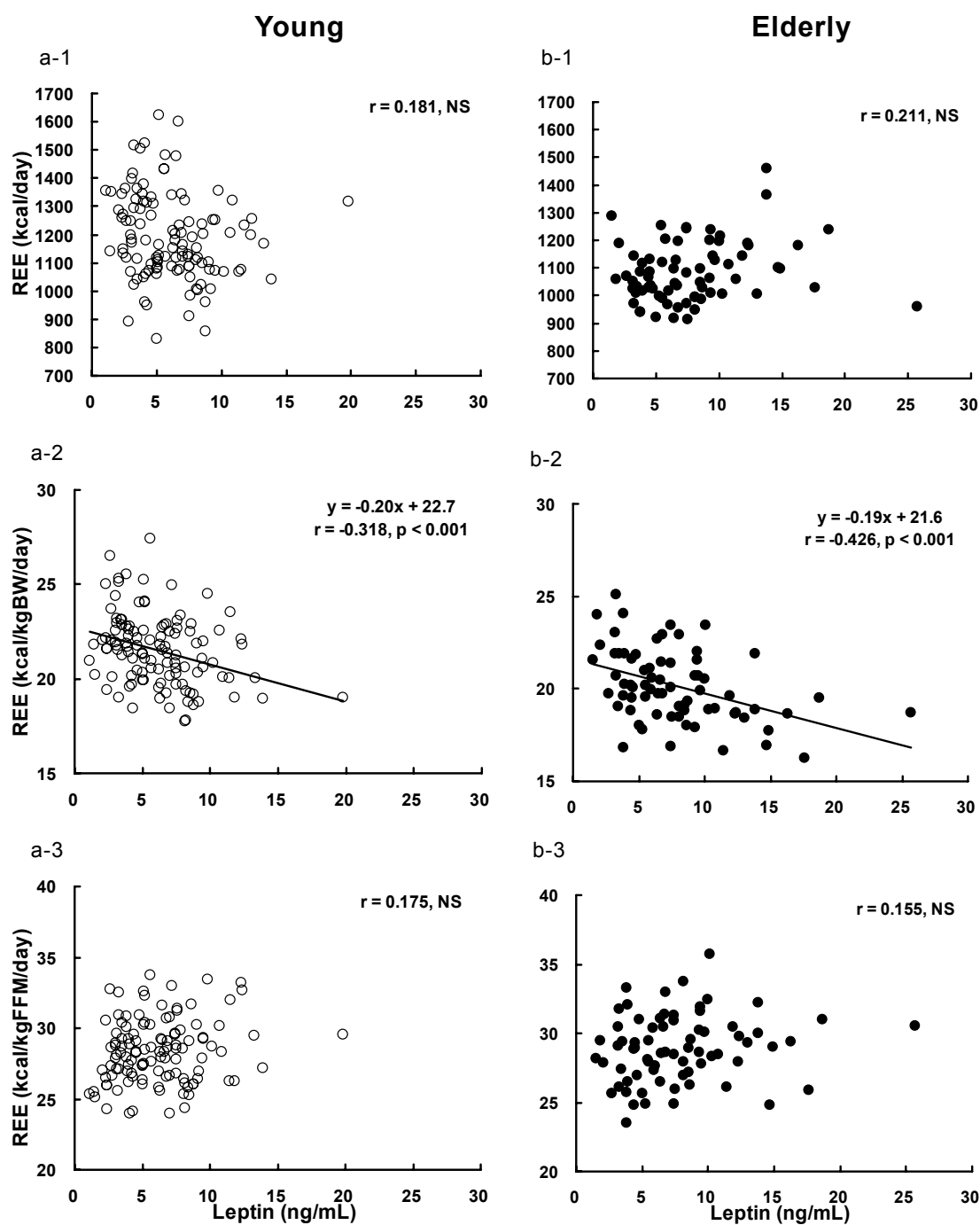


Figure 2. Relationship between REE (kcal/day, kcal/kgBW/day, kcal/kgFFM/day) and leptin (ng/mL)

第5章 総括

1. 研究の背景と目的

近年、日本における食習慣の欧米化によるエネルギーの過剰摂取や技術の発達（交通機関や家電製品などの発達）による運動不足（日常生活における身体活動量の低下）が肥満症や糖尿病、高脂血症などの生活習慣病の罹患者の増加を引き起こす大きな要因になっている。

特に女性においては、閉経を迎えることで女性ホルモンであるエストロゲンの分泌が低下すること、卵巣でつくられるホルモンであるプロゲステロンの低下により大腿部への脂肪の蓄積が抑制されること、また、脂肪分解の促進と抑制のバランスが崩れることによって腹部への脂肪蓄積が増加することが言われている。このような閉経による性ホルモン分泌の変化が、体脂肪の蓄積増加や骨格筋や骨などの除脂肪組織の減少を引き起こし、その後の様々な生活習慣病や骨粗鬆症の発症につながっていることが問題となっている。

これら生活習慣病などの発症を予防し、健康で充実した生活を営むためには、年齢や生活活動に基づく適切な必要エネルギー摂取量を推定しなければならない。その推定基準となるのが基礎代謝量であり、生命維持に最低限必要なエネルギー代謝で、1日のエネルギー消費量の約60~80%を占めるものである。この基礎代謝量を標準化することは大変重要なことである。しかし、生活習慣病の危険リスクが高まる閉経後中高年女性の基礎代謝量とそれを決定付ける諸因子について、十分な検討がされていないのは事実である。

そこで、本研究では、閉経後中高年女性の身体組成と基礎代謝量の関係に注目するとともに、加齢や呼吸循環器系機能、血液生化学諸指標との関連についても検討する

ことを目的とした。

2. 研究の概要

2-1. 研究課題 1 (第 2 章)

目的 : 70 名 (年齢 : 60.6 ± 4.2 歳、BMI : $21.9 \pm 2.1 \text{ kg/m}^2$) の閉経後の中高年女性を対象として基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響について検討した。

内容 : 閉経後中高年女性における基礎代謝量 (kcal/day) に対し、寄与率が最大となる説明変数は除脂肪量 (Fat free mass; FFM: 35.7 %) で、次に脂肪量 (Fat mass; FM : 7.0 %) であり、両者で 42.7 % が説明可能であった。

この結果から、閉経後中高年女性の基礎代謝量 (kcal/day) の最も重要な決定因子は FFM であり、加齢に伴って増加した FM も基礎代謝量の決定因子として一定の役割を担っていることが示唆された。

2-2. 研究課題 2 (第 3 章)

目的 : 有酸素性能力の異なる健康な 116 名の若年成人女性 (年齢 : 22.3 ± 2.1 歳、BMI : $21.3 \pm 1.9 \text{ kg/m}^2$) と 72 名の閉経後中高年女性 (年齢 : 63.3 ± 6.4 歳、BMI : $22.9 \pm 2.3 \text{ kg/m}^2$) を対象として、基礎代謝量と二重エネルギー X 線吸収法 (DXA 法) によって測定した身体組成との関連を検討した。

内容 : REEm (実測値) と DXA 法で測定した 4 つの組織/器官の重量にそれぞれの代謝量を掛け合わせて見積もった REEe (推定値) の間に強い正の相関関係が認められた ($r = 0.771$, $p < 0.001$)。また、Bland-Altman の分析においてどんなバイアスも見られなかった ($r = 0.140$, NS)。さらに、REEm と REEe の相関関係における、若年者と中高年者のそれぞれの回帰直線において、傾きと切片に有意

な差が認められなかったことから、加齢による代謝率の低下よりもむしろ、FFMに対する骨格筋とその他組織/器官の重量の割合の違いが、基礎代謝量を推定する際に重要であることが示唆された。

これらの結果から、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の女性において、年齢や有酸素性能力の違いに関係なく、DXA法で測定した4つの組織/器官の重量が適切に見積られれば、基礎代謝量を高い精度で推定できることが示唆された。また、加齢や有酸素性能力の低下による基礎代謝量の低下は、各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりも、むしろ各組織/器官の重量の変化が大きく影響を及ぼしている可能性が示唆された。

2-3. 研究課題3（第4章）

目的：本研究は、健康な115名の若年成人女性（年齢： 22.3 ± 2.1 歳、BMI： $21.3 \pm 1.9 \text{ kg/m}^2$ ）と71名の閉経後中高年女性（年齢： 63.4 ± 6.5 歳、BMI： $22.9 \pm 2.3 \text{ kg/m}^2$ ）を対象として、基礎代謝量と血中のホルモン及びアディポサイトカインとの関係を検討した。

内容：本研究においてFFM当たりの基礎代謝量と T_3 の間に有意な単相関関係が認められた（All subjects： $r = 0.456$ 、 $p < 0.001$ ）。また、若年成人女性においては、FFM当たりの基礎代謝量と E_2 の間に有意な単相関関係が認められた（ $r = 0.222$ 、 $p < 0.05$ ）。

本研究の閉経後中高年女性において、基礎代謝量（kcal/day）とアディポネクチンの間に有意な負の相関関係が認められた（ $r = -0.386$ 、 $p < 0.001$ ）。しかし、この結果は身体組成が考慮されていないので、この負の相関関係は見かけ上の関係ではないかと考えた。そこで、基礎代謝量とアディポネクチンの正確な関係を

評価するために、我々は身体組成及び血中ホルモン（FM（kg）、FFM（kg）、 E_2 （pg/mL）、 T_3 （ng/dL））の影響を除去し、基礎代謝量とアディポサイトカインの間の偏相関係数を算出した。その結果、基礎代謝量とアディポネクチンまたはレプチンの間に有意な相関関係が認められなかった。

これらの結果から、BMIが 18.5 kg/m^2 以上 30 kg/m^2 未満の非肥満成人女性において、アディポネクチン及びレプチンは、基礎代謝量（kcal/day）に直接的な影響を及ぼさないことが示唆された。また、 T_3 及び E_2 が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしていることが確認された。

3. 結論と今後の研究課題

これらの研究結果から、閉経後中高年女性の基礎代謝量の主となる決定因子はFFMであり、体脂肪率の高い人についてはFMも決定因子の1つであることが明らかとなった。また、非肥満（ $18.5 \leq \text{BMI} < 30 \text{ kg/m}^2$ ）の成人女性において、DXA法で測定した4つの組織/器官の重量が適切に見積られれば、年齢や有酸素性能力の違いに関係なく、基礎代謝量を高い精度で推定できることが示唆され、加齢や有酸素性能力の低下による各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりも、むしろ各組織/器官の重量の変化が基礎代謝量に大きく影響を及ぼしていることが示唆された。

本研究では、基礎代謝量に対する身体組成の影響を中心に研究し検討してきたが、基礎代謝量は身体組成のみですべて説明できるわけではない。実際、FFM当たりの基礎代謝量とFFMの間に負の相関関係があることや基礎代謝量が体重やFFM当たりで表される場合に一定でなく、より大きい体重やFFMを持つ者では基礎代謝量（kcal/kgBW/day、kcal/kgFFM/day）が小さく、体重やFFMがより小さい者では基礎代謝量（kcal/kgBW/day、kcal/kgFFM/day）が大きいことなど、未だ未解明な問題と

して残っている。また、基礎代謝量と詳細な身体組成（脂肪組織、骨、骨格筋、その他組織/器官など）との関連において示されるように、基礎代謝量の個人差は、組織/器官の代謝量の違いに起因するものなのか、それともそれらの重量の違いに起因するものなのかは、先行研究の報告も踏まえても明白になっていない。

基礎代謝量を評価する際、身体組成の影響だけではなく、性、加齢、運動習慣（トレーニング）、ホルモンの影響、体温の上昇や発熱、栄養状態の善し悪し、気候の寒暖、および妊娠などの影響も考慮する必要があることが言われている。本研究においても、身体組成、性、加齢、運動習慣、ホルモン及びアディポサイトカインの影響について考察してきたが、その他にも交感神経系（sympathetic nervous system；SNS）の活動状態や熱産生機能を担う β_3 -アドレナリン受容体（ β_3 -AR）の遺伝子異常、エネルギー消費の自律的調節に関与しているミトコンドリア脱共役蛋白質（Uncoupling Protein；UCP）ファミリーの1つであるUCP1遺伝子多型などにも目を向けなければならない。

また、最近の遺伝子研究の分野において、エネルギー代謝に深く関わるミトコンドリア DNA について、世界中の人類集団のデータが蓄積されており、ミトコンドリア DNA の全塩基配列が解明されている。ミトコンドリア DNA は、細胞質のなかにあるミトコンドリアというエネルギーを生み出す小器官中に存在しており、心臓の筋肉細胞や肝臓の細胞のようにエネルギーを大量に必要とする細胞においては、数千個も含まれていることが知られている。このミトコンドリア DNA の塩基配列の変異パターンを解析することで人類集団の分類が可能になった。日本においても、同じ塩基配列の構造を持った集団（ハプログループ）がほぼ解明されており、このハプログループと基礎代謝量の関係を解明することで、基礎代謝量に対する人類学的な要因も明らかになる可能性がある。

本研究において、SNS の活動や遺伝と関連する諸指標を測定していない。基礎代謝量の個人差にはこれらの SNS の活動や遺伝的因子が大きく関与している可能性が考えられ、今後の研究課題として、基礎代謝量に対する SNS の活動や遺伝的因子の影響を検討する必要があると思われる。

第 6 章 結 論

本研究で得られた主な知見は、以下のとおりである。

1. 閉経後中高年女性の基礎代謝量に最も寄与する因子は FFM である（研究課題 1）。
2. 加齢に伴って増加した FM は、閉経後中高年女性の基礎代謝量に寄与する因子の 1 つである（研究課題 1）。
3. 非肥満の成人女性において、年齢や有酸素性能力の違いに関係なく、DXA 法で測定した 4 つの組織/器官（脂肪組織、骨、骨格筋、その他組織/器官）の重量が適切に見積られれば、基礎代謝量を高い精度で推定することができる（研究課題 2）。
4. 加齢や有酸素性能力の低下による基礎代謝量の低下は、各組織/器官のエネルギー代謝率の低下よりも、むしろ各組織/器官の重量の変化に影響されている（研究課題 2）。
5. 非肥満の成人女性を対象としたとき、アディポネクチン及びレプチンは、基礎代謝量に直接的な影響を及ぼさない（研究課題 3）。
6. 甲状腺ホルモン（ T_3 ）及び女性ホルモン（ E_2 ）が成人女性の基礎代謝量の調節において重要な役割を果たしている。（研究課題 3）。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、終始御懇篤な御指導ならびに激励を賜りました早稲田大学スポーツ科学学術院の樋口 満教授に深甚なる謝意を表します。

(独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラムの田畑 泉博士(プログラムリーダー)、宮地元彦博士(プロジェクトリーダー)には、本稿を終えるにあたり、暖かい激励ならびに御指導を賜りましたことを心から感謝いたします。

日本女子体育大学の山川 純名誉教授、東京家政大学家政学部の岡 純教授には、運動負荷試験や採血をはじめとした実験の遂行において御指導ならびに御助言を頂きましたことを心より感謝いたします。

松本大学人間健康学部の呉 泰雄博士には、早稲田大学大学院人間科学研究科修士課程のころより、心身ともにサポートしていただき、暖かい激励ならびに御助言を頂きましたことを心より感謝いたします。

本研究の遂行に際しまして検者としてご協力いただきました(独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラムの研究員の皆様、および早稲田大学スポーツ科学学術院の運動生化学研究室の金子香織さんならびに成田知代さん、青山友子さん、高橋恵理さん、丸藤祐子さん、石島寿道さんをはじめとする大学院生の皆様に心から感謝いたします。

本研究に被検者としてご協力いただいた竹宇治(田中)聰子コーチ、河井 彰子コ

一ちならびに水泳教室「華の会」、「さところ水泳教室」、ウォーキングクラブ「GNP」、
「一六会」、三菱ボートクラブの会員の皆様、早稲田大学及び実践女子大学の学生の皆
様に心より御礼申し上げます。

本研究は平成 12～14 年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学総合研究事業 栄
養所要量策定のための基礎代謝基準値作成に関する研究 主任研究者 柏崎 浩、長
寿科学総合研究事業 高齢者の健康増進のための運動指導マニュアル作成に関する研
究 主任研究者 佐藤祐造）、平成 17～21 年度文部科学省学術フロンティア推進事業
（ライフステージに応じた健康増進と多様性維持プロジェクト 主任研究者 今泉和
彦；05F-02）、平成 16～20 年度文部科学省科学技術振興調整費 戦略的研究拠点育成
プログラム（早稲田大学 先端科学と健康医療の融合研究拠点の形成 健康医療ドメ
イン）、早稲田大学 特定課題研究助成費（2005A-932、2006B-242）、平成 18 年度日
本オリンピック委員会/日本コカ・コーラ スポーツ科学基金（アクエリアス基金）、平
成 18 年度花王健康科学研究助成金によって行われたことを付記します。

最後に、これまで本論文を執筆するにあたり、心身ともに陰ながら支えてくれた愛
する両親、また夫に心から感謝します。

引用文献

- Armellini F, Zamboni M, Mino A, Bissoli L, Micciolo R, and Bosello O. Postabsorptive resting metabolic rate and thermic effect of food in relation to body composition and adipose tissue distribution. *Metabolism* **49**:6-10 (2000)
- Astrup A, Buemann B, Christensen NJ, Madsen J, Gluud C, Bennett P, and Svenstrup B. The contribution of body composition, substrates, and hormones to the variability in energy expenditure and substrate utilization in premenopausal women. *J Clin Endocrinol Metab* **74**:279-286 (1992)
- Bass DE. *Methods for Evaluation of Nutritional Adequacy and Status* (1954)
- Behnke AR. An approach to Oz consumption of the "active protoplasmatic mass" (APM). *Federation Proc* **11**:11 (1952)
- Benedict FG, Emmes LE, Roth P, and Smith HM. The basal metabolism of normal men and women. *J Biol Chem* **18**:139-155 (1914(a))
- Benedict FG and Talbot FB. *Carnegie Institution of Washington Publication, Washington DC* **201** (1914(b))
- Benedict FG. The factors affecting normal basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* **1**:105-109 (1915(a))
- Benedict FG. Factors affecting basal metabolism. *J Biol Chem* **20**:263-299 (1915(b))
- Benedict FG and Smith HM. The influence of athletic training upon basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* **1**:102-103 (1915(c))
- Benedict FG, Miles WR, Roth P, and Smith HM. *Carnegie Institution of Washington Publication, Washington DC* **280**:497 (1919)
- Benedict FG. The measurement and standard of the basal metabolism. *JAMA*

77:247-250 (1921)

Bernstein RS, Thornton JC, Yang MU, Wang J, Redmond AM, Pierson RN Jr, Pi-Sunyer FX, and Van Itallie TB. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. *Am J Clin Nutr* **37:595-602 (1983)**

Bisdee JT, James WP, and Shaw MA. Changes in energy expenditure during the menstrual cycle. *Br J Nutr* **61:187-199 (1989)**

Bland JM and Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* **8:307-310 (1986)**

Bosy-Westphal A, Reinecke U, Schlorke T, Illner K, Kutzner D, Heller M, and Muller MJ. Effect of organ and tissue masses on resting energy expenditure in underweight, normal weight and obese adults. *Int J Obes Relat Metab Disord* **28:72-79 (2004)**

Bouchard C, Godbout P, Mondor JC, and Leblanc C. Specificity of maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **40:85-93 (1979)**

Bray GA. Obesity, a disorder of nutrient partitioning : the MONA LISA hypothesis. *J Nutr* **121:1146-1162 (1991)**

Brožek J, Grande F, Anderson JT, and Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci* **110:113-140 (1963)**

Crosley AP Jr, Castillo C, and Rowe GG. The relationship of renal oxygen consumption to renal function and weight in individuals with normal and diseased kidneys. *J Clin Invest* **40:836-842 (1961)**

Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal

- adults. Am J Clin Nutr **33**:2372-2374 (1980)
- Cunningham JJ. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. Am J Clin Nutr **54**:963-969 (1991)
- Deriaz O, Fournier G, Tremblay A, Despres JP, and Bouchard C. Lean-body-mass composition and resting energy expenditure before and after long-term overfeeding. Am J Clin Nutr **56**:840-847 (1992)
- Dolezal BA and Pottleiger JA. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in nondieting individuals. J Appl Physiol **85**:695-700 (1998)
- Douglas CG. A method for determining the total respiratory exchange in man. Proc Phys Soc **26**:1516-1523 (1911)
- Du Bois D and Du Bois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch Intern Med **17**:863-71 (1916)
- Du Bois EF. Basal Metabolism in Health and Disease 150 (1936)
- Elia M. Organ and tissue contribution to metabolic rate. In: Kinney JM, Tucker HN, eds. Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries. pp. 61-80. New York: Raven. Press. (1992)
- Elia M. Tissue distribution and energetics in weight loss and undernutrition. In: Physiology, Stress, and Malnutrition, edited by JM Kinney and HN Tucker. Philadelphia: Lippincott Raven, pp. 383-411 (1997)
- FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Technical Report Series 724, WHO, Geneva, (1985)

- Fukagawa NK, Bandini LG, and Young JB. Effect of age on body composition and resting metabolic rate. *Am J Physiol* **259**:E233-E238 (1990)
- Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX, and Heymsfield SB. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol* **275**:E249-E258 (1998)
- Gallagher D, Allen A, Wang Z, Heymsfield SB, and Krasnow N. Smaller organ tissue mass in the elderly fails to explain lower resting metabolic rate. *Ann NY Acad Sci* **904**:449-455 (2000)
- Gallagher D, Albu J, He Q, Heshka S, Boxt L, Krasnow N, and Elia M. Small organs with a high metabolic rate explain lower resting energy expenditure in African American than in white adults. *Am J Clin Nutr* **83**:1062-1067 (2006)
- Garby L and Lammert O. Between-subjects variation in energy expenditure: estimation of the effect of variation in organ size. *Eur J Clin Nutr* **48**:376-378 (1994)
- Grande F. Nutrition and energy balance in body composition studies. In: *Techniques For Measuring Body Composition*, edited by J. Brožek and A. henschel. Washington, DC: National Research Council, pp. 168-188 (1961)
- Grande F. Energy expenditure of organs and tissues. In: *Assessment of Energy Metabolism in Health and Disease*, edited by JM Kinney. Columbus, OH: Ross Laboratories: 88-92 (1989)
- Guo SS, Zeller C, Chumlea WC, and Siervogel RM. Aging body composition, and lifestyle: the fels longitudinal study. *Am J Clin Nutr* **70**:405-411 (1999)
- Gustafson FL and Benedict FG. Seasonal variation in basal metabolism. *Am J Physiol*

86:43-58 (1928)

Harper EJ. Changing perspectives on aging and energy requirements: Aging, body weight and body composition in humans, dogs and cats. *J Nutr* **128:2627s-2631s**, review (1998)

Harris J and Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Washington D. C., Carnegie Institution 279 (1919)

Havel PJ. Update on adipocyte hormones: regulation of energy balance and carbohydrate/lipid metabolism. *Diabetes* **53:S143-S151**, Review (2004)

Hayes M, Chustek M, Wang Z, Gallagher D, Heshka S, Spungen A, Bauman W, and Heymsfield SB. DXA: potential for creating a metabolic map of organ-tissue resting energy expenditure components. *Obes Res* **10:969-977** (2002)

Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, and Holloszy JO. A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J Appl Physiol* **51:634-640** (1981)

Henry CJ. Mechanisms of changes in basal metabolism during ageing. *Eur J Clin Nutr* **54:S77-S91**, review (2000)

Heymsfield SB, Smith R, Aulet M, Bensen B, Lichtman S, Wang J, and Pierson RN Jr. Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am J Clin Nutr* **52:214-218** (1990)

Heymsfield SB, Gallagher D, Kotler DP, Wang Z, Allison DB, and Heshka S. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to non-energetic homogeneity of fat-free mass. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **282:E132-E138** (2002)

Himms-Hagen J, Cui J, Danforth E Jr, Taatjes DJ, Lang SS, Waters BL, and Claus TH.

- Effect of CL-316,243, a thermogenic β_3 -agonist, on energy balance and brown and white adipose tissues in rats. *Am J Physiol* **266**:R1371-R1382 (1994)
- Holliday MA, Potter D, Jarrah A, and Bearg S. The relation of metabolic rate to body weight and organ size. *Pediatr Res* **1**:185-195 (1967)
- Holliday MA. Metabolic rate and organ size during growth from infancy to maturity and during late gestation and early infancy. *Pediatrics* **47**:169 (1971)
- Horton ND, Kaftani DJ, Bruce DS, Bailey EC, Krober AS, Jones JR, Turker M, Khattar N, Su TP, Bolling SF, and Oeltgen PR. Isolation and partial characterization of an opioid-like 88 kDa hibernation-related protein. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* **119**:787-805 (1998)
- Hunter GR, Wetzstein CJ, Fields DA, Brown A, and Bamman MM. Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J Appl Physiol* **89**:977-984 (2000)
- Hunter GR, Weinsier RL, Gower BA, and Wetzstein C. Age-related decrease in resting energy expenditure in sedentary white women: effects of regional differences in lean and fat mass. *Am J Clin Nutr* **73**:333-337 (2001)
- Illner K, Brinkmann G, Heller M, Bosy-Westphal A, and Muller MJ. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **278**:E308-E315 (2000)
- Johnson MS, Figueroa-Colon R, Herd SL, Fields DA, Sun M, Hunter GR and Goran MI. Aerobic fitness, not energy expenditure, influences subsequent increase in adiposity in black and white children. *Pediatrics* **106**:E50 (2000)
- Jørgensen JO, Vahl N, Dall R, and Christiansen JS. Resting metabolic rate in healthy

- adults: relation to growth hormone status and leptin levels. *Metabolism* **47**:1134-1139 (1998)
- Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, and Gallagher D Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr* **76**:378-383 (2002)
- Kistorp CN, Toubro S, Astrup A, and Svendsen OL. Measurements of body composition by dual-energy X-ray absorptiometry improve prediction of energy expenditure. *Ann N Y Acad Sci* **904**:79-84 (2000)
- Kondo N and Kondo J. Identification of novel blood proteins specific for mammalian hibernation. *J Biol Chem* **267**:473-478 (1992)
- Kotani K, Tokunaga K, Fujioka S, Kobatake T, Keno Y, Yoshida S, Shimomura I, Tarui S, and Matsuzawa Y. Sexual dimorphism of age-related changes in whole-body fat distribution in obese. *Int J Obes Relat Metab Disord* **18**:207-212 (1994)
- Krogh A. The respiratory exchange of animals and man. *Monographs in Biochemistry*, Longmans Green & Co. New York and London (1916)
- Lavoisier AL and PS LaPlace. Memoire sur la chaleur. *Mem Acad Sci* **2**:282-333 (1780) (Translation in Gabriel ML and Fogel S. *Great experiments in biology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, pp. 85-93 (1955)
- Loewy. Oppenheimer's Handbuch der Biochemis **4**: 279 (1911)
- Maeda K, Okubo K, Shimomura I, Mizuno K, Matsuzawa Y, and Matsubara K. Analysis of an expression profile of genes in the human adipose tissue. *Gene* **190**:227-235 (1997)
- Magnus-Levy. v. Noorden's Handbuch des Stoffwechsels **1**:207 (1896)

- Matsuzawa Y, Funahashi T, Kihara S, and Shimomura I. Adiponectin and metabolic syndrome. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* **24**:29-33, review (2004)
- Midorikawa T, Kondo M, Beekley MD, Koizumi K, and Abe T. High REE in Sumo wrestlers attributed to large organ-tissue mass. *Med Sci Sports Exerc* **39**:688-693 (2007)
- Miles DS, Critz JB, and Knowlton RG. Cardiovascular, metabolic, and ventilatory responses of women to equivalent cycle ergometer and treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc* **12**:14-19 (1980)
- Miller AT Jr and Blyth CS. Lean body mass as a metabolic reference standard. *J Appl Physiol* **5**:311-6 (1953)
- Miyatake N, Nonaka K, and Fujii M. A new air displacement plethysmograph for the determination of Japanese body composition. *Diabetes, Obes Metab* **1**:347-51 (1999)
- Morio B, Montaurier C, Pickering G, Ritz P, Fellmann N, Coudert J, Beaufriere B, and Vermorel M. Effects of 14 weeks of progressive endurance training on energy expenditure in elderly people. *Br J Nutr* **80**:511-519 (1998)
- Müller MJ, Bosy-Westphal A, Kutzner D, and Heller M. Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans: recent lessons from imaging technologies. *Obes Rev* **3**:113-122, Review (2002)
- National Research Council. Recommended dietary allowances. 10th edition, National Academy Press, Washington, DC (1985)
- Nelson KM, Weinsier RL, Long CL, and Schutz Y. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *Am J Clin Nutr* **56**:848-856 (1992)

- Neuhäuser-Berthold M, Herbert BM, Lührmann PM, Sültemeier AA, Blum WF, Frey J, and Hebebrand J. Resting metabolic rate, body composition, and serum leptin concentrations in a free-living elderly population. *Eur J Endocrinol* **142**:486-492 (2000)
- Newton TL. The assessment of maximal oxygen intake. *J Sports Med Phys Fitness* **3**:164-169 (1963)
- Owen OE, Morgan AP, Kemp HG, Sullivan JM, Herrera MG, and Cahill GF Jr. Brain metabolism during fasting. *J Clin Invest* **46**:1589-1595 (1967)
- Ozeki O, Ebisawa L, Ichikawa M, Nagasawa N, Sato F, and Fujita Y. Physical activities and energy expenditures of institutionalized Japanese elderly women. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* **46**:188-192 (2000)
- Paolisso G, Gambardella A, Balbi V, Ammendola S, D'Amore A, and Varricchio M. Body composition, body fat distribution, and resting metabolic rate in healthy centenarians. *Am J Clin Nutr* **62**:746-750 (1995)
- Piers LS, Soares MJ, McCormack LM, and O'Dea K. Is there evidence for an age-related reduction in metabolic rate? *J Appl Physiol* **85**:2196-2204 (1998)
- Pollock ML, Foster C, Knapp D, Rod JL, and Schmidt DH. Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. *J Appl Physiol* **62**:725-731 (1987)
- Rafamantanantsoa HH, Ebine N, Yoshioka M, Yoshitake Y, Tanaka H, Saitoh S, and Jones PJ. The role of exercise physical activity in varying the total energy expenditure in healthy Japanese men 30 to 69 years of age. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* **49**:120-124 (2003)

- Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, Christin L, and Bogardus C. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest* **78**:1568-78 (1986)
- Ravussin E, Lillioja S, Knowler WC, Christin L, Freymond D, Abbott WGH, Boyge V, Howard BV, and Bogardus C. Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *N Engl J Med* **318**:467-472 (1988)
- Ravussin E and Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr* **49**:968-975, review (1989)
- Redies C, Hoffer LJ, Beil C, Marliss EB, Evans AC, Lariviere F, Marrett S, Meyer E, Diksic M, Gjedde A, et al. Generalized decrease in brain glucose metabolism during fasting in humans studied by PET. *Am J Physiol* **256**:E805-810 (1989)
- Rising R, Tataranni PA, Snitker S, and Ravussin E. Decreased ratio of fat to carbohydrate oxidation with increasing age in Pima Indians. *J Am Coll Nutr* **15**:309-312 (1996)
- Rubner M. Über den Einfluss der Körpergrösse auf Stoff-und Kraft-wechsel. *Zeit Biol* **19**:535-562 (1883)
- Rubner M. Die Quelle der Thierischen Wärme. *Zeit Biol* **30**:73-142 (1894)
- Rubner M. Gesetze des Energieverbrauchs bei der Ernährung. Germany: Leipzig und Wien (1902)
- Ruige JB, Ballaux DP, Funahashi T, Mertens IL, Matsuzawa Y, and Van Gaal LF. Resting metabolic rate is an important predictor of serum adiponectin concentrations: potential implications for obesity-related disorders. *Am J Clin*

Nutr **82**:21-25 (2005)

Santa-Clara H, Szymanski L, Ordille T and Fernhall B. Effects of exercise training on resting metabolic rate in postmenopausal African American and Caucasian women. *Metabolism* **55**:1358-1364 (2006)

Scheidegger K, O'Connell M, Robbins DC, and Danforth E Jr. Effects of chronic β -receptor stimulation on sympathetic nervous system activity, energy expenditure, and thyroid hormones. *J Clin Endocrinol Metab* **58**:895-903 (1984)

Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr* **39** Suppl:5-41 (1985)

Seidell JC, Muller JD, Sorkin JD, and Andres R. Fasting respiratory exchange ratio and resting metabolic rate as predictors of weight gain: the Baltimore Longitudinal Study on aging. *Int J Obes Relat Metab Disord* **16**:667-674 (1992)

Shihara N, Yasuda K, Moritani T, Ue H, Adachi T, Tanaka H, Tsuda K, and Seino Y. The association between Trp64Arg polymorphism of the β_3 - adrenergic receptor and autonomic nervous system activity. *J Clin Endocrinol Metab* **84**:1623-1627 (1999)

Shimomura I, Funahashi T, Takahashi M, Maeda K, Kotani K, Nakamura T, Yamashita S, Miura M, Fukuda Y, Takemura K, Tokunaga K, and Matsuzawa Y. Enhanced expression of PAI-1 in visceral fat: possible contributor to vascular disease in obesity. *Nat Med* **2**:800-803 (1996)

Snyder WS, Cook MJ, Nasset ES, Karhausen LR, Howells GP, and Tipton IH. Report of the task group of reference man. Oxford: Pergamon. Press. (1975)

Solomon SJ, Kurzer MS, and Calloway DH. Menstrual cycle and basal metabolic rate

- in women. *Am J Clin Nutr* **36**:611-616 (1982)
- Sparti A, DeLany JP, de la Bretonne JA, Sander GE, and Bray GA. Relationship between resting metabolic rate and the composition of the fat-free mass. *Metabolism* **46**:1225-1230 (1997)
- Svendsen OL, Hassager C, and Christiansen C. Impact of regional and total body composition and hormones on resting energy expenditure in overweight postmenopausal women. *Metabolism* **42**:1588-1591 (1993)
- Svendsen OL, Hassager C, and Christiansen C. Age- and menopause-associated variations in body composition and fat distribution in healthy women as measured by dual-energy x-ray absorptiometry. *Metabolism* **44**:369-373 (1995)
- Swan H and Schatte C. Antimetabolic extract from the brain of the hibernating ground squirrel *Citellus tridecemlineatus*. *Science* **195**:84-85 (1977)
- Takamatsu N, Ohba K, Kondo J, Kondo N, and Shiba T. Hibernation-associated gene regulation of plasma proteins with a collagen-like domain in mammalian hibernators. *Mol Cell Biol* **13**:1516-1521 (1993)
- Tataranni PA and Ravussin E. Variability in metabolic rate: biological sites of regulation. *Int J Obes Relat Metab Disord* **19**:S102-S106, review (1995)
- Tilt J. The basal metabolism of young college women in Florida. *J Biol Chem* **86**:635-641 (1930)
- Van Pelt RE, Jones PP, Davy KP, Desouza CA, Tanaka H, Davy BM, and Seals DR. Regular exercise and the age-related decline in resting metabolic rate in women. *J Clin Endocrinol Metab* **82**:3208-3212 (1997)
- Van Pelt RE, Dinneno FA, Seals DR, and Jones PP. Age-related decline in RMR in

- physically active men: relation to exercise volume and energy intake. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **281**:E633-E639 (2001)
- Vaughan L, Zurlo F, and Ravussin E. Aging and energy expenditure. *Am J Clin Nutr* **53**:821-825 (1991)
- Visser M, Deurenberg P, Staveren WA, and Hautvast J GAJ. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis in young and elderly subjects: relationship with body composition, fat distribution, and physical activity level. *Am J Clin Nutr* **61**:772-778 (1995)
- Wade GN and Gray JM. Gonadal effects on food intake and adiposity: a metabolic hypothesis. *Physiol Behav* **22**:583-593, review (1979)
- Weinsier RL, Nelson KM, Hensrud DD, Darnell BE, Hunter GR, and Schutz Y. Metabolic predictors of obesity. Contribution of resting energy expenditure, thermic effect of food, and fuel utilization to four-year weight gain of post-obese and never -obese women. *J Clin Invest* **95**:980-985 (1995)
- Weir JB J. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* **109**:1-9 (1949)
- Westerterp KR and Meijer EP. Physical activity and parameters of aging: a physiological perspective. *J Gerontol* **56A**:7-12, review (2001)
- Williamson DL and Kirwan JP. A single bout of concentric resistance exercise increases basal metabolic rate 48 hours after exercise in healthy 59- 77- year-old men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* **52**:M352-M355 (1997)
- World Health Organization. Obesity: Preventing and managing the global epidemic; Report of a WHO Consultation on Obesity. Geneva. 3-5 June (1997)

- WHO expert consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet* **363**:157-163 (2004)
- Yamauchi T, Kamon J, Minokoshi Y, Ito Y, Waki H, Uchida S, Yamashita S, Noda M, Kita S, Ueki K, Eto K, Akanuma Y, Froguel P, Foufelle F, Ferre P, Carling D, Kimura S, Nagai R, Kahn BB, and Kadowaki T. Adiponectin stimulates glucose utilization and fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nat Med* **8**:1288-1295 (2002)
- Yoda M, Nakano Y, Tobe T, Shioda S, Choi-Miura NH, and Tomita M. Characterization of mouse GBP28 and its induction by exposure to cold. *Int J Obes Relat Metab Disord* **25**:75-83 (2001)
- Yoshida T, Sakane N, Umekawa T, Sakai M, Takahashi T, and Kondo M. Mutation of β_3 -adrenergic-receptor gene and response to treatment of obesity. *Lancet* **346**:1433-1434 (1995)
- Young WJ. Metabolism of white races living in tropics. *Ann Trop Med* **13**:313 (1920)
- 秋田尚見：高齢者における基礎代謝の再検討－70歳代及び80歳代について－，*弘前医学* **42**:407-417 (1991)
- 井上修二：肥満の臨床－最近の進歩，*日本醫事新報* **4094**:1-11 (2002)
- 薄井澄誉子，岡 純，山川 純，佐々木由美，樋口 満：閉経後中高年女性の基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響，*体力科学* **52**:189-198 (2003)
- 薄井澄誉子，金子香織，岡 純，田畑 泉，樋口 満：中高年男女スポーツ愛好者の身体組成と基礎代謝量，*栄養学雑誌* **63**:21-5 (2005)
- 大磯敏雄，露木貞文：カロリー－要求量の標準について，*東西醫學* **6**:206-212 (1939)

- 岡田清三郎，櫻井英一，伊吹月明，壁島美明：健康日本人に於ける基礎新陳代謝に就いて，東京醫學會雜誌 **36**:24-26 (1922)
- 科学技術庁資源調査会：日本人の栄養所要量，昭和 34 年 (1959)
- 柏崎 浩：エネルギー所要量の歴史と現状，栄養所要量・基準量と食生活ガイドライン，小林修平編，p.61-125，建帛社，東京 (1997)
- 鎌田喜雄：運動選手の基礎代謝に関する研究 第 2 報 摂取食物の量と基礎代謝との関係について，体力科学 **5**:201-206 (1956)
- 河谷正光：運動選手の基礎代謝に就いて，体力科学 **5**:56-61 (1955)
- 北川 薫：身体組成，体育学研究 **43**:1-11 (1998)
- 隈部平昭：炭坑労務者 (30 才台坑内夫) の労作別より見た基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌 **13**:23-39 (1964)
- 黒田昌樹：日本人発育期児童の基礎代謝の季節変動 (小学校低学年 女子篇)，長崎総合公衆衛生学雑誌 **12**:1-13 (1963)
- 健康・栄養情報研究会編：第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－，第一出版，東京 (1999)
- 厚生科学研究所国民栄養部：日本人栄養要求量標準，栄養学雑誌 **1**:29-30 (1941)
- 厚生省公衆衛生局栄養課監修：昭和 44 年改定日本人の栄養所要量と解説，第一出版，東京 (1969)
- 厚生省公衆衛生局：日本人の栄養所要量，昭和 50 年 (1975)
- 厚生省公衆衛生局栄養課監修：昭和 50 年改定日本人の栄養所要量と解説，第一出版，東京 (1975)
- 厚生省公衆衛生局栄養課編：昭和 54 年改定日本人の栄養所要量，第一出版，東京 (1979)

厚生省保健医療局健康増進栄養課編：第三次改定日本人の栄養所要量，第一出版，東京（1979）

厚生省保健医療局健康増進栄養課監修：第四次改定日本人の栄養所要量，第一出版，東京（1989）

厚生省保健医療局健康増進栄養課監修：第五次改定日本人の栄養所要量，第一出版，東京（1994）

厚生労働省策定：日本人の食事摂取基準（2005年版），第一出版，東京（2005）

国民栄養の現状－平成12年国民栄養調査結果－，厚生労働省，平成14年3月

国民食糧及び栄養対策審議会：日本人年齢別、性別、労作別熱量および蛋白質所要量，昭和24年（1949）

小宮秀一，佐藤方彦，安河内 朗：体組成の科学，p.47-84，朝倉書店，東京（1988）

近藤義昭：日本人幼児の基礎代謝の季節的変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌 9:49-77（1960）

指田吾一：青少年の代謝のうに関する研究（其の一）基礎代謝の年齢的变化に就いて，体力科学 2:93-100（1952）

重城範嘉：日本人高校生女子基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌 11:1-13（1962）

資源協会：日本人の栄養基準量，昭和29年（1954）

資源調査会食糧部会：日本人年齢別、性別、労作別無機質およびビタミン所要量，昭和27年（1952）

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，北川三郎，石橋八重子，大島壽美子：日本人の基礎代謝に関する研究（其の3）女子公務員の基礎代謝について（公務員其の2），栄養学雑誌 9:36-38（1951(a)）

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，北川三郎，石橋八重子：日本人の基礎代謝に関する研究（其の 4）土木建設技術養成員の基礎代謝について，栄養学雑誌 9:39-41 (1951(b))

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，北川三郎，石橋八重子：日本人の基礎代謝に関する研究（その 5）国家警察予備隊員の基礎代謝について，栄養学雑誌 9:63-64 (1951(c))

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，北川三郎，石橋八重子，大島壽美子：日本人の基礎代謝に関する研究（その 6）鞣皮作業者の基礎代謝について，栄養学雑誌 10:5-6 (1952(a))

鈴木慎次郎，大島壽美子，長嶺晋吉：日本人の基礎代謝に関する研究（その 7）戦後の恢復過程について〔1〕，栄養学雑誌 10:108-113 (1952(b))

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，山川喜久江，大島壽美子：日本人の基礎代謝に関する研究（その 8）女子の基礎代謝と体温，栄養学雑誌 11:2-7 (1953(a))

鈴木慎次郎，河田正治，久我達郎，大島壽美子：日本人の基礎代謝に関する研究（その 9）身体障害者のエネルギー代謝，栄養学雑誌 11:8-12 (1953(b))

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，河田正治，久我達郎，山川喜久江，大島壽美子：日本人の基礎代謝に関する研究（その 10）保安隊員の基礎代謝，栄養学雑誌 11:37-40 (1953(c))

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，大島壽美子，山川喜久江：日本人の基礎代謝に関する研究（その 11）戦後の恢復過程について〔2〕，栄養学雑誌 12:33-38 (1954)

鈴木慎次郎，久我達郎，長嶺晋吉，山川喜久江，河田正治，大島壽美子：高齢者栄養に関する研究（第 1 報），栄養学雑誌 13:37-46 (1955)

鈴木慎次郎：体成分(Body composition)と基礎代謝との関係，栄養学雑誌 15:97-101 (1957(a))

鈴木慎次郎，長嶺晋吉，河田正治，久我達郎，山川喜久江，大島壽美子：高齢者栄養

- に関する研究（第 2 報），栄養学雑誌 **13**:167-169 (1957(b))
- 鈴木慎次郎，長嶺晋吉，河田正治，久我達郎，山川喜久江，大島壽美子：高齢者栄養に関する研究（第 3 報），栄養学雑誌 **17**:219-223 (1959(a))
- 鈴木慎次郎，長嶺晋吉，大島壽美子，山川喜久江，河田正治，久我達郎：基礎代謝の季節変動に関する研究，栄養学雑誌 **17**:233-237 (1959(b))
- 鈴木慎次郎，長嶺晋吉，久我達郎，大島壽美子，山川喜久江：スポーツ栄養に関する研究，栄養学雑誌 **18**:175-180 (1960)
- 高倉康人，吉田俊秀：テーラーメイド医療の展望－肥満症－，日本臨床 **60**:154-160 (2002)
- 高比良英雄：日本人新陳代謝論（其一）日本人基礎新陳代謝の研究，栄養研究所報告 **1**:1-60 (1925(a))
- 高比良英雄：日本人新陳代謝論（其二）日本人体表面積の測定並に之を表す式に就いて，栄養研究所報告 **1**:61-95 (1925(b))
- 田口素子，樋口 満，岡 純，吉賀千恵，石田良恵，松下雅雄：女性持久性競技者の基礎代謝量，栄養学雑誌 **59**:127-134 (2001)
- 竹村勝公：日本人男子（20才台）の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌 **12**:26-51 (1963)
- 田中茂穂，田中千晶，二見 順，岡 純，高田和子，柏崎 浩：ヒューマンカロリメーターを用いて測定した座位中心の生活における 1 日当りのエネルギー消費量，日本栄養・食糧学会誌 **56**:291-296 (2003)
- 戸部秀之，田中茂穂，甲田道子，佐竹隆，服部恒明：密度法による身体組成評価における誤差要因としての除脂肪密度の加齢変化と個人差，体力科学 **46**:135-138 (1997)

富永賢一郎：日本人女子（30才台）の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌

12:1-12 (1963)

中川一郎：成長と基礎代謝，栄養研究所報告 7:72-87 (1934)

中林勝秀：日本人女子（20才台）の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌

12:13-24 (1963)

長嶺晋吉，久我達郎，山川喜久江，大島壽美子，鈴木慎次郎：体成分と栄養状態に関

する研究 第1報 男子軽作業者について，栄養学雑誌 16:71-78 (1958)

長嶺晋吉，久我達郎，山川喜久江，大島壽美子，鈴木秀雄，鈴木慎次郎：スポーツマ

ンと非スポーツマンの体構成（Body Composition）の比較に関する研究，栄養

学雑誌 24:3-8 (1966)

西田 誠，山下静也：加齢と肥満，最新医学，56:2419-2425 (2001)

浜口美博：日本人中学生男子の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑誌

12:39-55 (1963)

速水 決：日本人栄養要求量の標準についての批判（その2），栄養学雑誌 7:175-181

(1949)

藤本薫喜：日本人栄養要求量の研究，栄養研究所報告 8 (1936)

藤本薫喜，露木貞文：日本人栄養要求量標準の算定並に其の根拠，栄養学雑誌

1:22-28 (1941)

銚石武一郎：日本人老人（60才以上）の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学雑

誌 11:1-12 (1962)

堀米孝尚：労働環境が基礎代謝の季節変動に及ぼす影響について，弘前医学

20:277-294 (1968)

前田和久：アディポネクチン，臨床栄養 108:684-689 (2006)

- 松田明広：超高齢者の基礎代謝に関する研究，弘前医学 **44**:222-229 (1992)
- 山崎洋二：日本人発育期児童の基礎代謝の季節変動 (小学校低学年 男子篇)，長崎総合公衆衛生学雑誌 **12**:14-25 (1963)
- 山田敏男，佐藤尚武，辻 忠，吉村磯次郎，三宅義信，長谷川豪志：運動選手の基礎代謝量に関する研究 第1報 運動選手の基礎条件時ならびに安静時における体熱産生の季節変動について，体育学研究 **14**:82-92 (1969)
- 山田敏男，佐藤尚武，辻 忠，吉村磯次郎，三宅義信，長谷川豪志：運動選手の基礎代謝量に関する研究 第2報 女子運動選手の基礎代謝量の季節変動について，体育学研究 **15**:185-191 (1970)
- 山本 茂，小松龍史：日本人の基礎代謝資料の評価，栄養学雑誌 **59**:51-59 (2001)
- 湯浅景元：体脂肪の男女差と年齢差，新版 体脂肪，p.101-119，山海堂，東京 (2004)
- 横関利子：高齢者の基礎代謝量と身体活動量，日本栄養・食糧学会誌 **46**:451-458 (1993)
- 吉国重正：日本人男子 (40才台) の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌 **40**:413-438 (1965)
- 吉田章信：邦人の種々なる姿勢及運動時に於ける勢力代謝に就いて，福岡医科大学雑誌 **13**:38-73 (1920)
- 吉田博利：日本人高校生男子の基礎代謝の季節変動，長崎総合公衆衛生学会雑誌 **12**:26-38 (1963)

掲載論文及び学会発表一覧

原著論文

1. 薄井澄瑩子, 岡 純, 山川 純, 佐々木由美, 樋口 満 : 閉経後中高年女性の基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響, 体力科学 **52**:189-198 (2003) 【-第2章-】
2. 薄井澄瑩子, 金子香織, 岡 純, 田畑 泉, 樋口 満 : 中高年男女スポーツ愛好者の身体組成と基礎代謝量, 栄養学雑誌 **63**:21-25 (2005)
3. Usui C, Takahashi E, Gando Y, Sanada K, Oka J, Miyachi M, Tabata I, and Higuchi M. Relationship between blood adipocytokines and resting energy expenditure in young and elderly women. J Nutr Sci & Vitaminol **53**: 529-535 (2007) 【-第4章-】
4. Usui C, Takahashi E, Gando Y, Sanada K, Oka J, Miyachi M, Tabata I, and Higuchi M. Resting energy expenditure can be assessed by dual-energy X-ray absorptiometry in women regardless of age and fitness. Eur J Clin Nutr (2008) (in press) 【-第3章-】
5. 高橋恵理, 薄井澄瑩子, 田畑 泉, 樋口 満 : 若年女性の基礎代謝量は除脂肪量から簡便に高い精度で推定できる-スポーツ選手と運動習慣のない女性を対象とした研究-, トレーニング科学 (2008) (in press)

総説

1. 薄井澄瑩子, 樋口 満 : 運動と基礎代謝, 体育の科学 **54**:792-796 (2004)
2. 樋口 満, 薄井澄瑩子 : 中・高年齢者の運動・スポーツと栄養・食事, 臨床栄養 **108**:150-154 (2006)

3. 樋口 満, 薄井澄誉子 : メタボリックシンドロームにおける高脂血症, 臨床スポーツ医学 **24**:277-282 (2007)

学会発表

1. 薄井澄誉子, 岡 純, 山川 純, 樋口 満 : 閉経後中高年女性の運動習慣・基礎代謝量・身体組成の関係, 第 57 回日本体力医学会大会 体力科学 **51**:635 (2002)
2. 岡 純, 薄井澄誉子, 山川 純, 樋口 満 : 閉経後中高年女性の運動習慣・身体組成と糖質・脂質代謝, 第 57 回日本体力医学会大会 体力科学 **51**:634 (2002)
3. 薄井澄誉子, 岡 純, 樋口 満, 山川 純, 田畑 泉 : 運動習慣のある 60 歳以上の高齢男性の基礎代謝量, 第 58 回日本体力医学会大会 体力科学 **52**:929 (2003)
4. Usui C, Yamakawa J, Oka J, Kaneko K, Tabata I and Higuchi M. Effect of daily physical activity level and body composition on biochemical parameters of lipid and glucose metabolism in postmenopausal women. 12th International Biochemistry of Exercise Conference (2003)
5. Usui C, Ishimi Y, Oka J, Wu J, Kaneko K, Tabata I and Higuchi M. Effect of high impact sports on bone health in postmenopausal women. (JSPFSM EXCHANGE SYMPOSIUM) 9th Annual Congress of the European College of Sport Science (2004)
6. 成田知代, 薄井澄誉子, 岡 純, 樋口 満 : スポーツ様式の違いが閉経後中高年女性の上・下肢及び体幹の身体組成に及ぼす影響, 第 59 回日本体力医学会大会 体力科学 **53**:763 (2004)
7. 金子香織, 薄井澄誉子, 樋口 満 : 運動習慣・食事摂取状況が閉経後中高年女性の身体組成に与える影響, 第 51 回日本栄養改善学会学術総会 栄養学雑誌 **62**(特

別付録):428 (2004)

8. **Usui C**, Ishimi Y, Oka J, Wu J, Kaneko K, Tabata I and Higuchi M. Effect of high impact sports on bone health in postmenopausal women. 第 59 回日本体力医学
会大会 国際セッション 体力科学 **54**:76 (2005)
9. **Usui C**, Miyachi M, Tabata I and Higuchi M. Body composition in Japanese
middle-aged and elderly female swimmers. 52th Annual Meeting of American
College of Sports Medicine (2005)
10. **薄井澄瑩子**, 吳 泰雄, 金子香織, 宮谷昌枝, 宮地元彦, 田畑 泉, 樋口 満 : 中
年女性の基礎代謝量に及ぼす身体各部の組成の影響, 第 60 回日本体力医学
会大会 体力科学 **54**:515 (2005)
11. Sanada K, Miyachi M, **Usui C**, Miyatani M, Kawano H, Tabata I and Higuchi M.
Absence of age-related increases in the risk of lifestyle-related diseases in
male rowers. 53th Annual Meeting of American College of Sports Medicine
(2006)
12. Miyatani M, Miyachi M, **Usui C**, Kawano H, Takata K, Higuchi M and Tabata I. The
relationship between physical activity, cardiovascular fitness, muscle strength
and age-related change in body composition. 53th Annual Meeting of American
College of Sports Medicine (2006)
13. **Usui C**, Miyatani M, Sanada K, Miyachi M, Tabata I and Higuchi M. Regularly
performed swimming exercise does not induce increase of basal metabolic rate
associated with soft lean tissue mass in postmenopausal women. 11th Annual
Congress of the European College of Sport Science (2006)
14. Sanada K, Miyachi M, McGrath KF, Tabata I, **Usui C**, and Higuchi M. Association

- between regional muscle mass, muscle function, and bone mineral density in postmenopausal women. 11th Annual Congress of the European College of Sport Science (2006)
15. Yashiro K, Sanada K, **Usui C**, Tabata I, and Higuchi M. Abdominal skeletal muscle and adipose tissue cross-sectional area measured by magnetic resonance imaging in older female swimmer. 11th Annual Congress of the European College of Sport Science (2006)
 16. 高橋恵理, **薄井澄瑩子**, 樋口 満 : 若年女性の基礎代謝量に及ぼすスポーツ活動と身体組成の影響, 第 61 回日本体力医学会大会 体力科学 **55**:683 (2006)
 17. 高橋恵理, **薄井澄瑩子**, 樋口 満, 田畑 泉 : 若年女性の身体組成と基礎代謝量, 第 53 回栄養改善学会学術総会 栄養学雑誌 **64** (特別付録):215 (2006)
 18. **Usui C**, Gando Y, Sanada K, Miyachi M, Tabata I, and Higuchi M. Basal metabolic rate can be estimated from four tissue-organ components by using DXA regardless of age and aerobic fitness level in female adults. 12th Annual Congress of the European College of Sport Science (2007)
 19. **薄井 澄瑩子**, 高橋 恵理, 丸藤 祐子, 真田 樹義, 宮地 元彦, 田畑 泉, 樋口 満 : 閉経後中高年女性の基礎代謝量とアディポサイトカインの関係, 第 62 回日本体力医学会大会 体力科学 **56**:673 (2007)

追記

本研究は、厚生労働省が 2005 年 4 月に発表した『日本人の食事摂取基準 2005 年版』の策定にあたり、エネルギーの分野における科学的根拠に基づいたデータを提供しました。このことは、推定エネルギー必要量を算出するために必要な基礎代謝基準値の改定において大きく貢献し、この功績は協力研究者として名を残しましたので、ここに記します。